



Universidad  
Carlos III de Madrid

Grado en Ingeniería en las Tecnologías Industriales

Trabajo Fin de Grado

DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DE CLIMATIZACIÓN  
PARA LA DESHUMECTACIÓN DE PISCINAS CUBIERTAS

Autor: Álvaro Girela Fernández

Tutor: Antonio Soria Verdugo

Madrid, Enero de 2017



## Agradecimientos

Finalizado el proyecto me gustaría destacar a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo, sin las cuales el resultado de este no habría sido posible.

En primer lugar, quiero resaltar el esfuerzo realizado por Luis Pardo, Ángel Ramírez, Emilio Fernández, Felipe Cebrián y para que este proyecto llegara a buen puerto. Con su gran apoyo y conocimiento han conseguido sacar lo mejor de mí, sentando las bases del proyecto y puliendo los detalles más delicados del trabajo.

En segundo lugar quiero dar las gracias tanto a LCI HVAC, la como a la Universidad Carlos III de Madrid por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto, el cual me ha acercado a increíbles profesionales de los que aprender, tanto en el ámbito técnico como en el personal.

Afortunadamente, durante todo el trabajo he estado rodeado de personas como Marco Zapatero, Juan Carlos Hebrero y Ana Walsh que no han dudado en apoyarme y que consiguieron hacer de esta larga investigación una increíble experiencia.

Pero no todo acaba ahí, no puedo terminar sin nombrar a todos los trabajadores de la fábrica de LCI, sin los cuales no se hubiera podido construir la máquina.

Finalmente me gustaría citar a mis familiares, los cuales se han volcado en este proyecto como si suyo se tratase, motivándome día a día a seguir adelante y no desfallecer en los momentos difíciles, ya no solo en este proyecto, sino a lo largo de mi vida.

A todos vosotros: Muchas Gracias.



## 1. Índice

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>2</b>
<b>1. ÍNDICE</b>	<b>3</b>
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	10
<b>2. RESUMEN</b>	<b>11</b>
ABSTRACT	13
<b>3. PRESENTACIÓN</b>	<b>14</b>
<b>4. ESTADO DE LA CUESTIÓN</b>	<b>16</b>
ANTECEDENTES. ENTORNO SOCIO-ECONÓMICO	17
ANÁLISIS DE MERCADO.	18
ESTUDIO DE LA GAMA DE MÁQUINAS DESHUMECTADORAS PARA PISCINAS CUBIERTAS QUE LCI QUIERE FABRICAR Y COMERCIALIZAR.	22
ESPECIFICACIONES QUE DEBE CUMPLIR LA MÁQUINA A DISEÑAR Y FABRICAR.	24
HOJA DE ESPECIFICACIONES	25
PRESUPUESTO PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO	26
<b>5. OBJETIVOS</b>	<b>27</b>
OBJETIVO GENERAL	28
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
<b>6. ETAPAS DEL PROYECTO</b>	<b>29</b>
<b>7. MARCO TEÓRICO</b>	<b>32</b>
INTRODUCCIÓN A LA PSICROMETRÍA	33
BREVE EXPLICACIÓN DEL CIRCUITO FRIGORÍFICO	43
INTRODUCCIÓN AL DIAGRAMA DE MOLLIER	48
<b>8. MARCO REGULADOR</b>	<b>57</b>
<b>9. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA</b>	<b>64</b>



**FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DESCRITO UTILIZANDO EL DIAGRAMA PSICROMÉTRICO EN DISTINTAS**

<b>SITUACIONES AMBIENTALES</b>	<b>65</b>
<b>ENTORNOS DE FUNCIONAMIENTO:</b>	<b>66</b>
<b>100% AIRE RECIRCULADO</b>	<b>66</b>
<b>INVIERNO</b>	<b>67</b>
<b>VERANO</b>	<b>73</b>

**10. DISEÑO DEL SISTEMA TÉRMICO** **77**

<b>CALCULO DEL AGUA EVAPORADA</b>	<b>78</b>
<b>CALCULO DE LA HUMEDAD ABSOLUTA DE IMPULSIÓN:</b>	<b>80</b>
<b>CALCULO DE LA POTENCIA FRIGORÍFICA NECESARIA</b>	<b>81</b>
<b>CIRCUITO FRIGORÍFICO</b>	<b>84</b>
TEMPERATURAS DE CONDENSACIÓN, EVAPORACIÓN, SOBRECALENTAMIENTO Y SUBENFRIAMIENTO Y SELECCIÓN DE LAS BATERÍAS DE FRÍO Y CALOR DEFINITIVAS.	95
<b>BATERÍA DE APOYO</b>	<b>99</b>
<b>SISTEMA DE EXPULSIÓN DE CALOR AL EXTERIOR.</b>	<b>100</b>

**11. DISEÑO DE LA MÁQUINA** **102**

<b>11.1 INTRODUCCIÓN:</b>	<b>103</b>
<b>11.2 RECUPERADOR DE CALOR:</b>	<b>105</b>
<b>11.3 FILTROS</b>	<b>108</b>
<b>11.4 CONJUNTO MOTOR VENTILADOR:</b>	<b>115</b>
<b>11.5 SILENCIADORES:</b>	<b>123</b>
<b>11.6 CONFIGURACIÓN DE LA MÁQUINA</b>	<b>124</b>
11.6.1 ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES EXISTENTES	124
11.6.2 VALORACIÓN DE SOLUCIONES	129
11.6.3 FORMA FINAL + CAD	133
<b>11.7 MATERIALES: RESISTENCIA A LA CORROSIÓN</b>	<b>134</b>

**12. AUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA DESHUMECTADORA** **135**

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>136</b>
<b>ELEMENTOS DE LOS QUE CONSTA EL CONTROL</b>	<b>136</b>
PLC	136
SENSORES Y TRANSDUCTORES	137
<b>PARÁMETROS A REGULAR</b>	<b>140</b>





<b>LISTADO DE SEÑALES</b>	<b>144</b>
<b>MEMORIA DE FUNCIONAMIENTO</b>	<b>146</b>
INTRODUCCIÓN A LA MEMORIA DE FUNCIONAMIENTO	146
FUNCIONAMIENTO	147
MODOS DE TRABAJO	152
PANTALLA TÁCTIL	154
<b>PROGRAMACIÓN DEL PLC</b>	<b>163</b>
REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA	164
REGULACIÓN DE LA HUMEDAD	167
REGULACIÓN DEL CO <sub>2</sub>	170
<b><u>13. COMPROBACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES</u></b>	<b><u>171</u></b>
CAPACIDAD DE DESHUMECTACIÓN >8 KG/H	171
CONSUMO ELÉCTRICO < 5 kW:	171
DIMENSIONES: MENOR QUE 1x3x1.5 METROS.	171
CAUDAL =< 2500 M <sup>3</sup> /H	171
REGULACIÓN AUTOMÁTICA DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD, PARA MANTENER LA TEMPERATURA ENTRE 26°C Y 31°C Y LA HUMEDAD POR DEBAJO DEL 80% COMO ESTABLECE EL RITE.	172
PRECIO DEL PROTOTIPO < 10000€	172
<b><u>14. CREACIÓN DE FICHA TÉCNICA</u></b>	<b><u>174</u></b>
FICHA TÉCNICA COMERCIAL	175
FICHA TÉCNICA POST-VENTA	179
<b><u>15. FABRICACIÓN</u></b>	<b><u>180</u></b>
<b><u>16. COMPROBACIÓN DE RESULTADOS</u></b>	<b><u>184</u></b>
<b><u>17. CONCLUSIONES</u></b>	<b><u>186</u></b>
<b><u>18. BIBLIOGRAFÍA</u></b>	<b><u>189</u></b>
PÁGINAS WEB CONSULTADAS	190
<b><u>19. RECURSOS INFORMÁTICOS</u></b>	<b><u>191</u></b>
<b><u>ANEXO 1: FICHAS TÉCNICAS</u></b>	<b><u>192</u></b>



<b>FICHA TÉCNICA DE LA BASE DE COMPRESIÓN</b>	<b>192</b>
<b>FICHA TÉCNICA EVAPORADORA</b>	<b>193</b>
<b>FICHA TÉCNICA CONDENSADORA</b>	<b>194</b>
<b>FICHA TÉCNICA BATERÍA DE APOYO</b>	<b>195</b>
<b>FICHA TÉCNICA DEL VENTILADOR DE IMPULSIÓN</b>	<b>196</b>
<b>FICHA TÉCNICA VENTILADOR DE RETORNO</b>	<b>198</b>
<b>FICHA TÉCNICA RECUPERADOR</b>	<b>200</b>



## Índice de figuras

Figura 2-1 Diseño de la máquina en AutoCad	12
Figura 2-2 Diseño en detalle de la máquina utilizando SolidWorks	12
Figura 2-3 Prototipo fabricado	12
Figura 3-1 Deshumectadora HH de Borealis	18
Figura 3-2 Deshumectadora de la marca CIAT	19
Figura 3-3 Deshumectadora de la serie dry-pool	20
Figura 3-4 Deshumectadora TheroCond 39 de Menerga.	21
Figura 5-1 Diagrama psicrométrico.	33
Figura 5-2 Temperatura de bulbo seco.	34
Figura 5-3: Humedad absoluta.	34
Figura 5-4: Curva de humedad relativa constante.	35
Figura 5-5: Curva de saturación.	35
Figura 5-6: Líneas isoentálpicas.	36
Figura 5-7: Líneas de temperatura húmeda constante.	37
Figura 5-8: Líneas de volumen específico constante.	38
Figura 5-9 Enfriamiento sensible	39
Figura 5-10 Deshumectación	40
Figura 5-11 Calentamiento sensible	41
Figura 5-12 Humectación adiabática	41
Figura 5-13 Ciclo de Carnot utilizando el diagrama Presión-Volumen	45
Figura 5-14 Diagrama de Mollier y sus diferentes áreas	48
Figura 5-15 líneas isoentálpicas del diagrama de Mollier.	49
Figura 5-16 Líneas isobáricas del diagrama de Mollier.	49
Figura 5-17 Líneas isotermas del diagrama de Mollier.	50
Figura 5-18 Ciclo de refrigeración mostrado en el diagrama de Mollier.	52
Figura 5-19 Detalle del subenfriamiento y el sobrecalentamiento.	54
Figura 7-1 Ciclo del aire con 100% recirculación	66
Figura 7-2 Ciclo del aire en invierno descrito con el diagrama psicrométrico	68
Figura 7-3 Ciclo del aire en verano	74
Figura 8-1 Proceso de enfriamiento descrito en el diagrama psicrométrico	82
Figura 8-2	93
Figura 8-3 Gráfico ilustrativo de los resultados de las iteraciones	97
Figura 8-4 Aerotermo	100
Figura 8-5 Intercambiador refrigerante-agua	101
Figura 9-1 esquema de el funcionamiento de un recuperador de calor	105
Figura 9-2 recuperador rotativo	106



Figura 9-3 recuperador de placas	106
Figura 9-4 Ventilador axial	115
Figure 9-5 ventilador cetrífugo	115
Figura 9-6 Ventilador polea-correa	116
Figura 9-7 Ventilador Plug Fan	117
Figura 9-8 Ventilador Plug Fan con motor EC.	118
Figura 9-9 Curva de trabajo del ventilador de impulsión	122
Figura 9-10 Curva de trabajo del ventilador de retorno	122
Figura 9-11 Silenciador.	123
Figura 9-12 Diseño en CAD de una máquina fabricada por LCI	129
Figura 9-13 Ejemplo de una unidad de tratamiento de aire fabricada por LCI	129
Figura 9-14 Diseño final de la máquina realizado con SolidWorks	133
Figura 10-1 Sensor de presión con placa móvil.	139
Figura 10-2 Dos puntos del psicrométrico con distintas temperaturas secas	141
Figura 10-3 Dos punto del psicrométrico con distintas humedades absolutas y detalle de sus propiedades termodinámicas	143
Figura 10-4	144
Figura 10-5 Encendido de la máquina	147
Figura 10-6 Grafico descriptivo de la regulación de la temperatura	148
Figura 10-7 Grafico descriptivo de la regulación de la humedad	149
Figura 10-8 Menú principal	154
Figura 10-9 Pantalla de ajustes	155
Figura 10-10 ajuste de las temperaturas de consigna	156
Figura 10-11 Pantalla de ajuste de las consignas de funcionamiento	157
Figura 10-12 Teclado virtual en la pantalla táctil	157
Figura 10-13 pantalla de ajuste de los PID	158
Figura 10-14 pantalla de ajuste de la programación horaria	159
Figura 10-15 Pantalla con el historial de funcionaiento	160
Figura 10-16 Datos de contacto	161
Figura 10-17 Pantalla historial de alarmas.	162
Figura 10-18 Cálculo de la entalpía interior y exterior	164
Figur 10-19 Guardado de cual es la entalpía mayor en la variable A	164
Figura 10-20 Cálculo de la temperatura de impulsión en función de la de retorno	165
Figura 10-21 regulación de los elementos físicos en función de las temmperas	166
Figura 10-22 Cálculo de las humedades absolutas interiores y exteriores	167
Figura 10-23 almacenamiento de cual es la humedad absoluta mayor en la variable B	167
Figura 10-24 Calculo de si es necesario humectar o deshumectar	168
Figura 10-25 Regulación de los elementos físicos en función de la humedad	169



<i>Figura 10-26 PID de ajuste del CO2</i>	<i>170</i>
<i>Figura 10-27 Regulación de las compuertas en función del CO2</i>	<i>170</i>
<i>Figura 14-1: Vista lateral de la máquina</i>	<i>181</i>
<i>Figura 14-2: Detalle del Bypass</i>	<i>181</i>
<i>Figura 14-3: Recuperador de placas</i>	<i>181</i>
<i>Figura 14-4: Detalle de las aletas pintadas en epoxi</i>	<i>181</i>
<i>Figure 14-5: Evaporador, condensador y batería de apoyo.</i>	<i>181</i>
<i>Figura 14-6: Ventilador pintado en epoxi y óido plástico para evitar corrosión.</i>	<i>182</i>
<i>Figura 14-7: Base de compresión, incluye compresor, recipiente de líquido, separador de gotas y filtro deshidratador.</i>	<i>182</i>



## Índice de Tablas

<i>Tabla 3-1 Tamaños eestandares de LCI</i>	22
<i>Tabla 3-2 Gama GW Completa</i>	23
<i>Tabla 3-3 Especificaciones requeridas</i>	25
<i>Tabla 3-4 Presupuesto para el desarrollo del proyecto</i>	26
<i>Tabla 7-1 Concentración máxima de CO2 en función de la calidad de aire interior.</i>	62
<i>Tabla 7-2 Eficiencia de la recuperación</i>	63
<i>Tabla 9-1 Detalle de los parámetros del aire en cada uno de los puntos del psicrométrico</i>	82
<i>Tabla 9-2 Comparación de los refrigerantes</i>	89
<i>Tabla 9-3 resultados de el primer cálculo de la batería evaporadora</i>	92
<i>Tabla 9-4 Compresores que valdrían para nuestra aplicación</i>	94
<i>Tabla 9-5 Datos de partida en cada una de las iteraciones</i>	96
<i>Tabla 9-6 Resultado de cada una de las iteraciones</i>	96
<i>Tabla 10-1: Exigencias del RITE en cuanto a eficiencia de la recuperación</i>	105
<i>Tabla 10-2 Clases de Filtración</i>	108
<i>Tabla 10-3 Pérdidas de carga</i>	120
<i>Tabla 11-1 Detalle de las propiedades de los dos puntos mostrados en la figura 10-2</i>	141
<i>Tabla 11-2 Listado de señales de entrada</i>	144
<i>Tabla 11-3 Listado de entradas en cada módulo</i>	145
<i>Tabla 12-1 Cálculo del costo del prototipo</i>	172

## 2. Resumen

Mantener la calidad del aire en los espacios públicos interiores es fundamental para garantizar la higiene y habitabilidad de los mismos. En las piscinas cubiertas esto es especialmente complicado por el exceso de humedad que se produce a determinadas temperaturas. El conocimiento de esta situación ha hecho que planteemos el presente trabajo de fin de grado con el objetivo principal de diseñar y desarrollar una máquina de deshumectación para piscinas cubiertas.

Este tipo de máquinas se caracterizan por ser capaces de climatizar piscinas cubiertas y deshumectar el aire interior en caso de ser necesario. Para ello constan de un circuito frigorífico integrado que primero reduce la temperatura del aire hasta su punto de saturación, donde se deshumecta y después lo calienta hasta una temperatura apropiada. El circuito frigorífico es un elemento clave de las máquinas deshumectadoras ya que tienen un elevado coste y un alto consumo energético. Se requiere un diseño integral que ajuste las temperaturas de evaporación, condensación, subenfriamiento y sobrecalentamiento, para hacer un producto competitivo. Adicionalmente la máquina consta de todos los elementos térmicos, de ventilación, recuperación y filtrado necesarios para operar óptimamente. En este trabajo se ha hecho un análisis de todos los componentes y parámetros de funcionamiento para desarrollar una máquina de máxima calidad y eficiencia. Para asegurar el correcto diseño de la máquina, esta se ha representado utilizando los programas de CAD AutoCAD y SolidWorks. (Figura 2-1 Diseño de la máquina en AutoCad; Figura 2-2 Diseño en detalle de la máquina utilizando SolidWorks).

En el diseño y desarrollo se ha tenido en consideración el cumplimiento de la legislación española referente a las unidades de tratamiento de aire recogidos en el Reglamento de Instalaciones Térmicas para Edificios (RITE).

Para el funcionamiento autónomo de la máquina se ha utilizado un Programmable Logic Controller (PLC), que se encarga del control de los distintos componentes de la deshumectadora en función de los parámetros leídos en las diferentes sondas.

La máquina de climatización que se desarrolla en este proyecto es la primera de toda una gama de deshumectadoras que LCI quiere comercializar. (Figura 2-3 Prototipo fabricado) y servirá como prototipo. En caso de un funcionamiento correcto, se procederá a diseñar el resto de máquinas para distintos tamaños de piscinas.

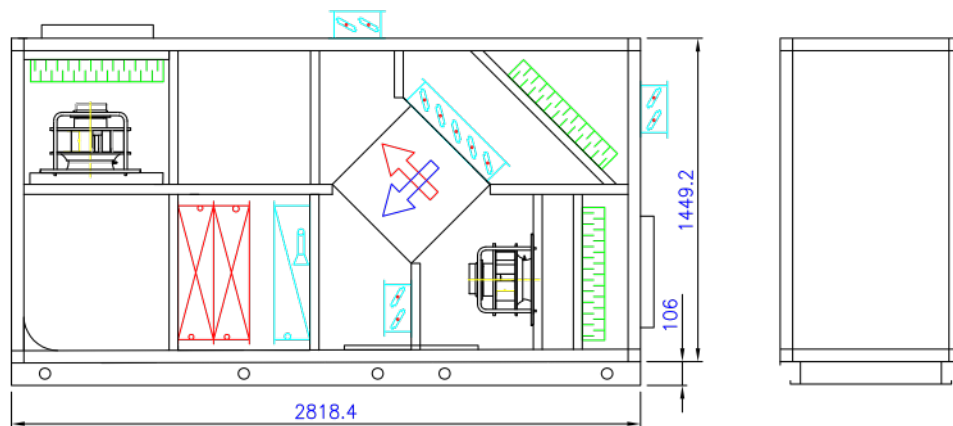


Figura 2-1 Diseño de la máquina en AutoCad

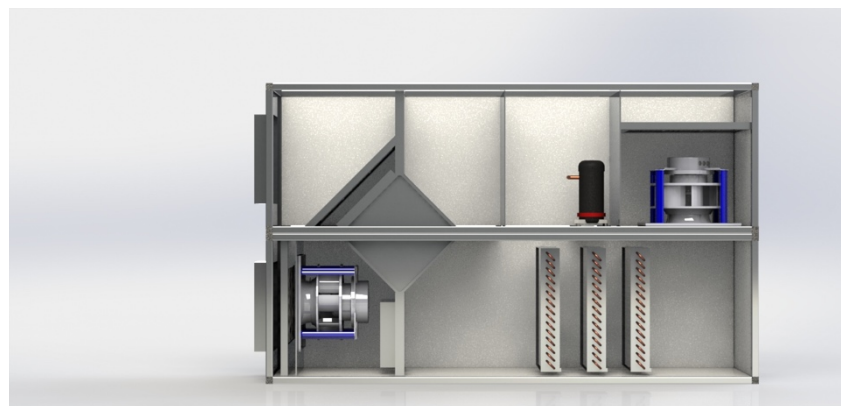


Figura 2-2 Diseño en detalle de la máquina utilizando SolidWorks

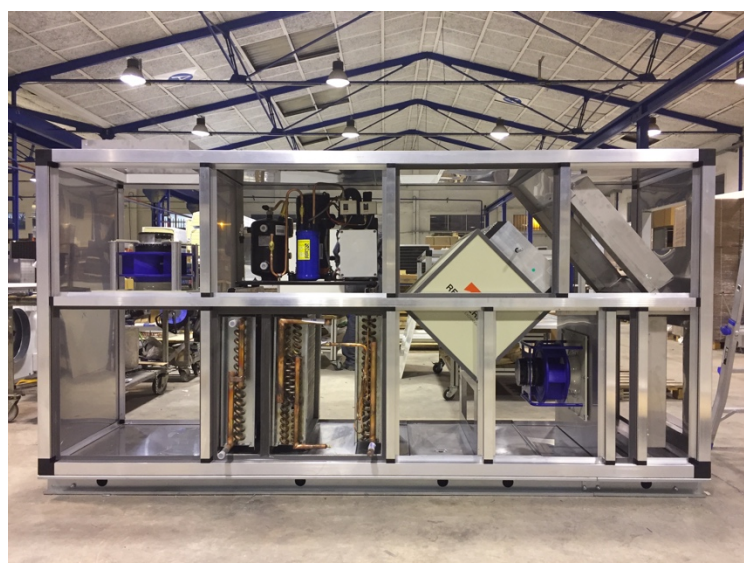


Figura 2-3 Prototipo fabricado



## Abstract

Keeping the air quality in the indoor public spaces is essential to guarantee the comfort and hygiene. In the indoor swimming pools, this is specially complicated due to the excess of humidity. Due to this problem, this final degree thesis has been conceived to design and develop a machine to climate indoor swimming pools.

This kind of machines are characterised for their ability to dehumidify the air in case its needed. To do this, they have a refrigeration cycle which allows them to reduce the temperature of the air until saturation, where it gets dehumidified. After this, the air is heated until an adequate temperature. The refrigeration cycle is a key element in this kind of machines due to its high price and high electric consumption. An optimal design is required, adjusting the evaporating, condensing, superheating and sub cooling, in order to make a competitive product. Additionally, the machine should have other thermal, ventilation, heat recovery and filtering elements in order to work properly. In this thesis, an analysis of all the components has been done to develop a machine of maximum quality and efficiency. To assure a correct design, the machine ahs been represented with the CAD software AutoCAD and SolidWorks. (Figura 2-1 Diseño de la máquina en AutoCad; Figura 2-2 Diseño en detalle de la máquina utilizando SolidWorks).

During the design and development, the current regulation regarding this kind of machines has been considered. This regulation is shown in the RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas para edificios).

For the autonomous working of the machine, a PLC (Programable Logic Controller) has been used. The PLC uses the different physical elements of the machine according to the signals received from the sensors.

This machine is the first one of a whole series of machines that the company LCI wants to commercialize and it serves as prototype. It has been manufactured () and in case of correct performance, the design of the rest of machines for swimming pools of different sizes will proceed. (Figura 2-3 Prototipo fabricado).



### 3. Presentación



Durante mis prácticas externas realizadas en la empresa LCI, me propusieron realizar una gama de máquinas deshumectadoras para piscinas cubiertas. Esto me pareció muy interesante ya que me permitiría tocar muchos ámbitos de la ingeniería, aprender muchísimo de climatización y llevar a cabo un proyecto real que se comercializaría en el futuro.

Junto con mi compañera de prácticas, Ana Walsh López, seríamos los encargados de llevar a cabo el proyecto, siendo los máximos responsables del mismo.

En base a este objetivo de diseño, ambos hemos realizado nuestros trabajos de fin de grado. Al ser un proyecto de gran magnitud, no ha sido difícil dividir el trabajo para realizar dos proyectos complementarios.

El trabajo de Ana Walsh consiste en la primera parte del proceso, es decir, a partir de una piscina real, calcular las características técnicas que ha de cumplir la máquina climatizadora. A continuación, en mi proyecto se presenta el diseño y desarrollo de dicha máquina.

El diseño de estas nuevas máquinas supone un gran reto profesional pero a la vez una gran oportunidad personal, ya que requiere que me encargue de todo el proceso de diseño, desde el concepto hasta la fabricación, y para ello habrá que aplicar conocimientos de variados ámbitos de la ingeniería como son la ingeniería térmica para el cálculo de calor y frío necesarios, la ingeniería de diseño fabricación para hacer toda la envolvente y hacer un producto fácil de fabricar y la ingeniería de control y automatización para que la máquina sea completamente autónoma. Esto supone una excelente oportunidad de reflejar y desarrollar en un caso práctico industrial todo lo aprendido durante el grado de Ingeniería en las Tecnologías Industriales de la Universidad Carlos III.



## 4. Estado de la cuestión

### Antecedentes. Entorno socio-económico

En la actualidad, existe un estricto control de la calidad del aire en los espacios públicos interiores para garantizar la higiene y habitabilidad de los mismos. En estos espacios para mantener aire de calidad, es necesario el uso de una máquina de climatización que se encargue de renovar el aire interior y mantener unas condiciones adecuadas de humedad, temperatura y CO<sub>2</sub>.

Adicionalmente, es necesario introducir un mínimo de aire exterior, el cual viene establecido por el Reglamento de Instalaciones Térmicas de España (RITE). El principal objetivo del aporte de aire mínimo del exterior es mantener unos niveles adecuados de CO<sub>2</sub>.

En el caso particular de las máquinas de climatización para piscinas cubiertas, hay que destacar que estas tienen la particularidad de poder reducir la humedad el aire, ya que al existir un alto nivel de evaporación en el interior del local, es necesario reducir la humedad en el ambiente para una buena habitabilidad; por esta razón se conoce a este tipo de máquinas como deshumectadoras.

Para reducir el nivel de humedad en el aire, el procedimiento habitual a seguir consiste en enfriar el aire hasta su saturación para que el agua condense, y posteriormente calentarlo hasta la temperatura requerida. Dicho enfriamiento se consigue incorporando un sistema frigorífico en el climatizador.

Luanju Climatización Industrial (LCI) es fabricante de unidades de tratamiento de aire que ha iniciado el proceso de diseño de una gama de máquinas deshumectadoras para piscinas cubiertas con el objetivo de aumentar su mercado. La primera máquina deshumectadora que se plantean es la que vamos a desarrollar en este proyecto. Cuando se finalice el mismo, se fabricará y se testeará para asegurar su correcto funcionamiento. Posteriormente se prevé el diseño y fabricación de toda una gama de máquinas deshumectadoras de diferentes tamaños.

Se prevé que la entrada de LCI en el sector de las deshumectadoras aumentará su competitividad en el mercado, ya que son especialistas en la fabricación de Unidades de tratamiento de Aire (UTAS) de alta calidad y bajo coste gracias a su flexible cadena de producción.

### Análisis de mercado.

Antes de comenzar un proyecto de semejante envergadura, es importante analizar la competencia actual en el mercado. Por ello es necesario conocer las empresas que se dedican actualmente a la fabricación de deshumectadoras y analizar las soluciones que ofrecen. Para ello se han revisado todos los catálogos de las máquinas deshumectadoras que se comercializan en España.

Se han encontrado 4 empresas que se dedican a este tema: Borealis, CIAT, Sedical y Menerga.

A continuación se exponen las principales características de las máquinas de cada una de ellas.

#### *Borealis: serie HH.*

Borealis es la competencia más directa de LCI. Se dedica exclusivamente a la fabricación de deshumectadoras y otros sistemas similares de bomba de calor. Debido a su amplia experiencia en el campo ofrecen un producto de calidad a un precio muy competitivo. Su gama de deshumectadoras HH es la equivalente a la que queremos diseñar, por tanto servirá de referencia a la hora de plantear los tamaños, potencias etc. de las deshumectadoras de nuestra gama.

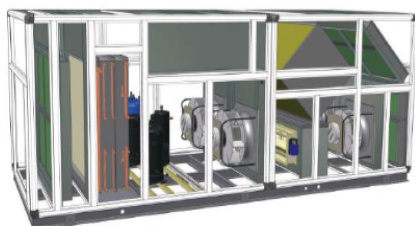


Figura 4-1 Deshumectadora HH de Borealis

*CIAT: tiene las series BCP Aquair y Air Master.*

Es una empresa multinacional que fabrica un amplio rango de productos de climatización, entre los cuales se encuentran las deshumectadoras para piscinas cubiertas.

CIAT goza de un alto prestigio internacional, y ha publicado múltiples libros de teoría de la climatización, algunos de los cuales servirán de referencia para desarrollar nuestro producto. Al ser una empresa de prestigio, su margen de beneficio es muy alto, lo cual nos permitirá sacar un producto a un precio inferior para poder introducirnos en el mercado.



Figura 4-2 Deshumectadora de la marca CIAT

*Sedical: Serie Dry-Pool.*

Esta empresa española ha optado por la diversificación y el crecimiento horizontal. Por ello, cuenta con una gran variedad de productos del sector de la climatización.

En las deshumectadoras, se encargan de hacer la parte de diseño e ingeniería y subcontratan la fabricación. Sus equipos son de gran calidad y prestigio, pero más caros al no tener fabricación propia.



Figura 4-3 Deshumectadora de la serie dry-pool



*Menerga: serie ThermoCond 39*

Menerga es una empresa alemana que se dedica a hacer equipos de climatización de alta eficiencia. Sus equipos se caracterizan por utilizar grandes recuperadores para aumentar la eficiencia lo que hace que normalmente sus equipos estén sobredimensionados y tenga un tamaño muy grande. Esta empresa no compite con el producto que queremos diseñar porque su mercado objetivo son clientes dispuestos a invertir mucho dinero en una instalación de alta eficiencia y prestigio.

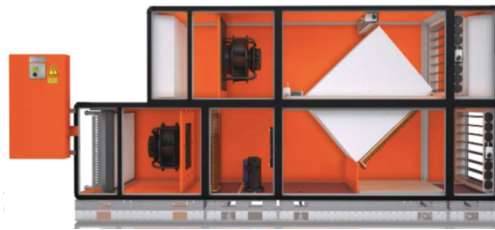


Figura 4-4 Deshumectadora TheroCond 39 de Menerga.

Las soluciones tomadas por cada una de estas empresas será analizada en profundidad en el apartado 11.6.1 Análisis de las soluciones [existentes](#).

## Estudio de la gama de máquinas deshumectadoras para piscinas cubiertas que LCI quiere fabricar y comercializar.

A continuación se describe como se han decidido las características técnicas que tendrán cada una de las máquinas.

Para introducirnos en el mercado es necesario diseñar una gama de máquinas que presente características similares a las que tienen la competencia, ya que la demanda es bastante constante e uniforme en todo el sector. Por ello, tras el análisis de mercado expuesto en el punto 2.2.1 se ha objetivado que las empresas CIAT y Borealis, son la competencia más directa que vamos a tener.

Tras un estudio exhaustivo estudio de sus productos, la empresa ha tomado la decisión de diseñar una gama de máquinas que compita con cada una de las suyas, pero adaptando los caudales a los estándares utilizados por la empresa LCI.

La propuesta de deshumectadoras de LCI se ajustará sus tamaños estándar de LCI, los cuales son los siguientes:

Tabla 4-1 Tamaños eestandares de LCI

	ANCHO	ALTO
CP-2	700	525
CP-3	700	700
CP5	1050	700
CP8	1050	1050
CP11	1400	1050
CP15	1400	1400
CP18	1750	1750
CP23	2100	1400
CP29	2100	1750
CP35	2100	2100
CP42	2100	2450
CP49	2100	2800
CP55	2100	3150

Una vez analizados los catálogos de la competencia y los tamaños estándar de LCI, se ha llegado a elaborar la gama de máquinas que habría que diseñar. Es necesario puntualizar que esta es la gama objetivo, los tamaños finales pueden variar dependiendo de las baterías que sea necesario utilizar, los compresores etc. Por ello, según avance el proceso de diseño, estos valores se pueden modificar ligeramente. También cabe puntualizar que son muchas más máquinas que tamaños estándares, por tanto será necesario hacer máquinas con tamaños fuera de lo estándar.

Tabla 4-2 Gama GW Completa

MODELO	CAUDAL	POTENCIA
GW9	2500	14.8
GW11	300	17.5
GW12	3500	19
GW14	3700	22
GW19	5200	30
GW28	7500	44
GW35	10000	57
GW40	10100	60
GW48	12700	72
GW54	14200	85
GW62	17600	100
GW75	20000	118
GW83	22300	125
GW100	25100	158
GW110	28500	170
GW125	31000	185
GW132	34000	200

Una vez haya concluido el proceso de diseño de cada máquina se evaluará su precio para conocer la competitividad de la misma en el mercado.

El precio será un factor clave, ya que el objetivo de LCI es ofrecer una calidad superior a un precio más competitivo que el mercado. Por lo tanto, si una vez diseñada la máquina, el precio resulta superior a la competencia, se estudiará de nuevo hasta conseguir mejor calidad/precio que los productos que actualmente ofrece el mercado.

En base a este estudio, la primer máquina deshumectadora de piscinas cubiertas que se plantea diseñar y fabricar la empresa LCI, y que es objeto de este proyecto, es la GW9. Se elige esta máquina por ser la de menor tamaño con lo que menor coste y mayor facilidad de fabricación.

#### Especificaciones que debe cumplir la máquina a diseñar y fabricar.

Como primer prototipo, se diseñará, fabricará y testeará la deshumectadora GW9. El diseño de la misma es el que se describe en este trabajo de fin de grado. A la hora de diseñar una nueva máquina, es fundamental definir claramente las especificaciones mínimas que ha de cumplir para ser válida.

Este tamaño está pensado para piscinas de unos 120 metros cuadrados, las cuales suelen estar instaladas en edificios de hostelería. Para que el diseño de la máquina sea lo más realista posible se ha obtenido, de una ingeniería, la ficha técnica que especifica los requerimientos de una piscina de estas dimensiones. Dichos requisitos se muestran en la hoja de especificaciones expuesta a continuación.

## Hoja de especificaciones

**Título:** Deshumectadora GW9

**Nivel de revisión:** A

**Creador:** Alvaro Girela

**Fecha:** 01/09/2016

**Aplicación objetivo:** Máquina capaz de mantener la humedad del aire, el CO<sub>2</sub> y la temperatura a niveles adecuados en un ambiente de alta producción de humedad.

**Tabla 4-3 Especificaciones requeridas**

No.	Característica	Relación	Valor	Unidad	Comentarios
1	Humedad	=<	80	%	El control gestionará la humedad para que se mantenga por debajo de este parámetro
2	Temperatura mínima	>	26	°C	El control será capaz de mantener la temperatura dentro de estos parámetros o saltar una alarma
3	Temperatura máxima	<	31	°C	
3	Capacidad de deshumectación	>	8.5	kg/h	Cuando funcione en modo de 100% recirculación, con aire de entrada a 28°C y 65% de humedad.
4	Precio	<	10000	€	Es importante no excederse del presupuesto disponible. Si el precio de la máquina es superior al dinero disponible, no se podrá realizar el prototipo.
5	Ancho	<	1	m	Las dimensiones son otro parámetro clave. Es mucho más atractiva una máquina compacta, por lo tanto han de mantenerse por debajo de las aquí expuestas
6	Largo	<	3	m	
7	Alto	<	1.5	m	
8	Consumo eléctrico	<	5	kW	La eficiencia energética también es fundamental, ya que la máquina funciona durante un gran número de horas y el ahorro es notable
9	Caudal	>=	2500	m <sup>3</sup> /h	El caudal es necesario para una buena ventilación del local, por lo tanto ha de mantenerse dentro de unos límites.

10	Calor aportado con la batería de apoyo	>	20	kW	En muchas ocasiones, el calor aportado con la batería de apoyo no es suficiente, por lo tanto es necesario tener una batería de apoyo para poder aportar todo el calor necesario para compensar las cargas térmicas.
----	--	---	----	----	--

Durante el proceso de diseño, es importante tener muy presente la hoja de especificaciones para asegurarnos de que cumplimos todos los requisitos necesarios.

Al final del trabajo, en el apartado 11: Resultados, se comprobarán si se han cumplido con todas las especificaciones que ha de cumplir la máquina.

### Presupuesto para el desarrollo del proyecto

Otro factor fundamental a tener en cuenta es el dinero disponible para el desarrollo del proyecto y la ejecución del prototipo. A continuación se expone el capital presupuestado por la empresa para llevarlo a cabo (Tabla 4-4 Presupuesto para el desarrollo del proyecto). Es importante respetar este presupuesto y realizar un proyecto acorde a él.

**Tabla 4-4 Presupuesto para el desarrollo del proyecto**

<b>Desarrollo técnico:</b> Para la realización del proyecto se ha contratado a dos alumnos en prácticas, los cuales se encargarán de todo el desarrollo técnico. Se les dará una ayuda económica de 500€ al mes durante seis meses.	6000€
<b>Formación</b> Para ayudar a los estudiantes en esta tarea, el ingeniero Felipe Cebrián dará un curso de climatización y cálculo de cargas térmicas a los alumnos en prácticas.	1000€
<b>Prototipo</b> Este proyecto consiste en el diseño y desarrollo del primer prototipo. Para sus componentes y fabricación	10000€
<b>Programación e integración del control</b> A pesar de que en este proyecto se expone una programación del PLC, este será revisado e implementado por un integrador externo.	1000€
<b>Total</b>	<b>18000€</b>



## 5. Objetivos



## Objetivo general

**El objetivo de este proyecto es diseñar, desarrollar y fabricar la primera máquina deshumectadora para piscinas cubiertas de toda la gama de que la empresa LCI quiere comercializar a nivel nacional e internacional.**

## Objetivos específicos

- Conocer la teoría existente en referencia a la psicrometría y sistemas frigoríficos.
- Identificar las características que debe cumplir la máquina deshumectadora de piscinas cubiertas (especificaciones técnicas).
- Conocer la legislación vigente respecto a la climatización de piscinas cubiertas.
- Describir el funcionamiento de la máquina deshumectadora en distintas condiciones climáticas.
- Desarrollar un sistema térmico adecuado a las necesidades de la máquina deshumectadora de piscinas cubiertas.
- Diseñar una máquina deshumectadora para piscinas cubiertas de unos 120 m<sup>2</sup>.
- Programar el PLC que se encargará del funcionamiento autónomo de la máquina deshumectadora de piscinas cubiertas.
- Desarrollar una ficha técnica comercial para la máquina deshumectadora de piscinas cubiertas.
- Fabricar la máquina deshumectadora de piscinas cubiertas acorde al diseño y desarrollo de la misma.





## 6. Etapas del proyecto

Dado que el objetivo principal del trabajo es diseñar, desarrollar y fabricar la primera máquina deshumectadora para piscinas cubiertas de toda la gama de que la empresa LCI quiere comercializar a nivel nacional e internacional, se plantea los siguientes pasos para su consecución. A cada paso le corresponde un capítulo del proyecto.

### **Capítulo 7º Marco teórico**

Es fundamental conocer la teoría existente en relación al tema a tratar, para asegurar el buen funcionamiento de la máquina. Por ello, en este apartado se describirán los conocimientos de psicrometría e ingeniería térmica necesarios.

### **Capítulo 8º Marco regulador**

Al ser una máquina que se va a comercializar en España, es fundamental conocer todas las leyes aplicables a este tipo de máquinas. Por ello, en este apartado se recogen todas las regulaciones aplicables a las máquinas deshumectadoras.

### **Capítulo 9º Descripción del funcionamiento de la máquina**

Es fundamental conocer el funcionamiento que se espera de la máquina antes de diseñarla. Por ello, se estudiará su funcionamiento en cada uno de los distintos entornos ambientales en los cuales se va a encontrar la máquina.

### **Capítulo 10º Diseño del sistema térmico**

Lo primero que se diseñará es el sistema frigorífico, ya que es el elemento clave que determina como trabaja la máquina. Una vez esté completamente definido, se conocerá el tamaño de las baterías y por tanto el ancho y el largo de la sección.

### **Capítulo 11º Diseño de la máquina**

Una vez conocido el ancho del mueble, se pueden seleccionar el resto de componentes interiores, es decir, ventiladores, recuperador de calor, filtros etc.

Una vez conocidos todos los componentes interiores y sus dimensiones, se diseñará el mueble completo para poder empezar a fabricar

## **Capítulo 12º Automatización de la máquina deshumectadora**

Por último, en base al estudio de funcionamiento donde se describe la respuesta de la deshumectadora ante distintas condiciones interiores y exteriores, se procederá a realizar la programación del control. Primeramente se identificarán todas las sondas, entradas y salidas para conocer que PLC es el más adecuado. En segundo lugar se programará dicho PLC y finalmente se desarrollará la pantalla táctil LCD que mostrará el funcionamiento al cliente.

## **Capítulo 13: Comprobación del cumplimiento de las especificaciones**

Para finalizar, se analizarán los resultados obtenidos. Se compararán las características de la máquina con las especificaciones técnicas que se establecieron al principio. En el caso de cumplir con todas las especificaciones técnicas, se dará por exitoso el proyecto.

## **Capítulo 14 Creación de ficha técnica**

Una vez diseñada la máquina, es necesario crear una ficha técnica que recoja todas las características de la máquina par poder entregarla a los clientes.

## **Capítulo 15 Fabricación**

En este capítulo se muestran las imágenes del prototipo una vez construido.

## **Capítulo 16º Comprobación de resultados**

En este capítulo revisamos que todos los objetivos que se establecieron al principio del trabajo se hayan cumplido con éxito.

## **Capítulo 17º Conclusiones**

Finalmente resaltamos los puntos más importantes del proceso de realización de este TFG.



## 7. Marco teórico

## Introducción a la psicrometría

La psicrometría es la ciencia que estudia las propiedades termodinámicas del aire húmedo.

Para conocer dichas propiedades se pueden emplear tablas de psicrometría o gráficos. Normalmente, para temas de climatización no se requiere mucha precisión, por lo que se ha tendido a utilizar gráficos psicrométricos. En la actualidad, existen programas como Sicro, que nos permiten conocer las propiedades psicrométricas del aire en cualquier punto con una elevada precisión.

A continuación se describe el diagrama psicrométrico. Su entendimiento es crucial en el ámbito de la climatización ya que las propiedades termodinámicas del aire humeado nos permitirán calcular las transformaciones que se han de hacer a dicho aire para conseguir condiciones de confort en el local a climatizar.

El diagrama psicrométrico contiene múltiples curvas realizadas a partir de las ecuaciones de estado. Es un diagrama en dos dimensiones, y para conocer todos los parámetros de el aire en un punto necesitamos tres variables. Por ello, fijaremos la altitud sobre el nivel del mar, y con otros dos parámetros cualquiera podremos conocer en detalle todas las propiedades termodinámicas del aire en ese punto.

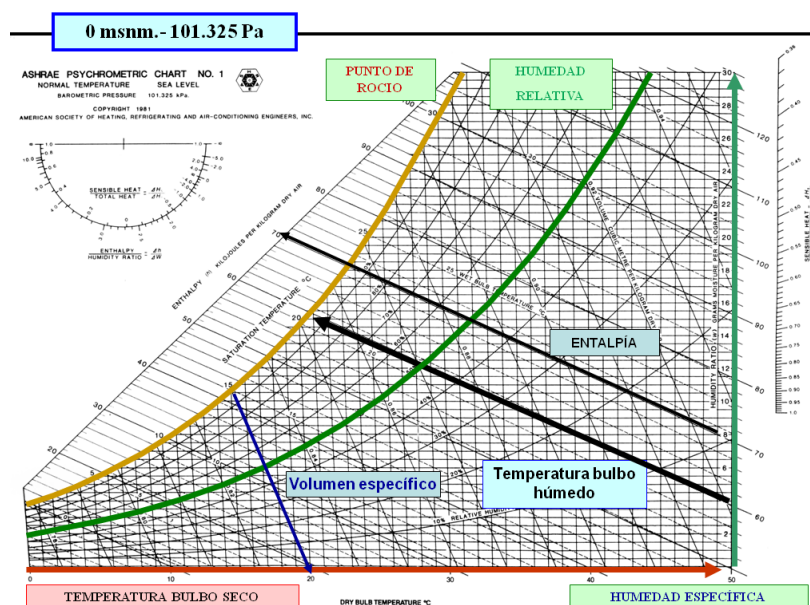


Figura 7-1 Diagrama psicrométrico.

A continuación describiremos cada una de las líneas del diagrama.

**Temperatura de bulbo seco:** o temperatura absoluta. Se encuentra en el eje de abscisas y se mide en °C

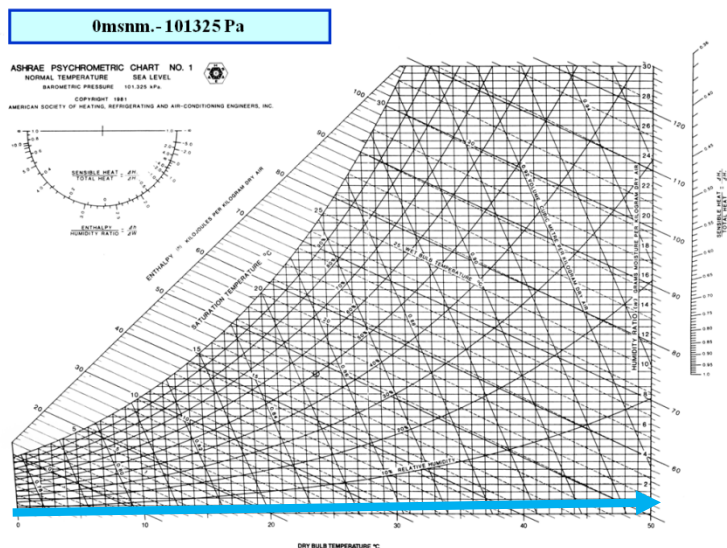


Figura 7-2 Temperatura de bulbo seco.

**Humedad absoluta:** representa la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se mide en g de agua por kg de aire.

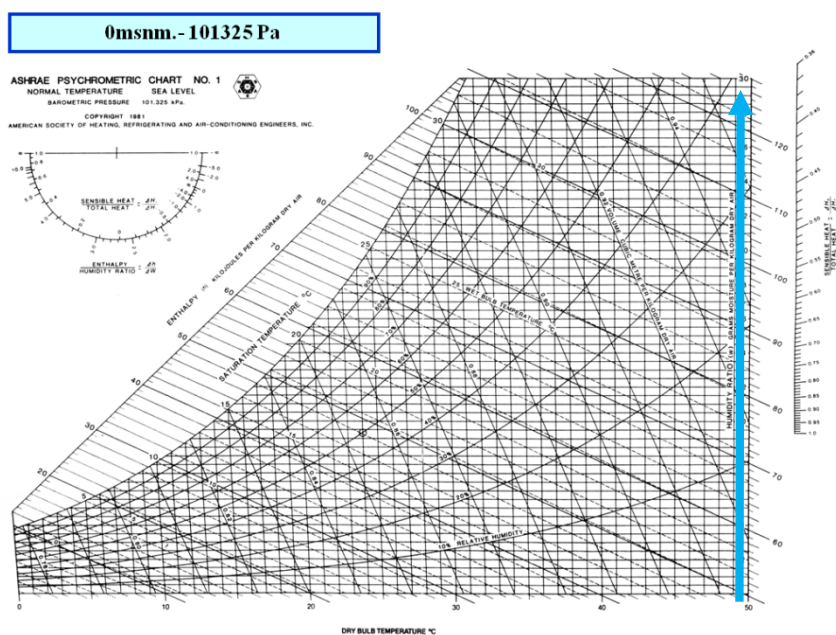


Figura 7-3: Humedad absoluta.

**Curvas de humedad relativa:** La humedad relativa es la relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener. Esto quiere decir que si por ejemplo hay un 50% de humedad relativa, el aire tiene el 50% del vapor de agua máximo que puede contener. En el diagrama psicrométrico esta representado por curvas parabólicas y van del 0% al 100%.

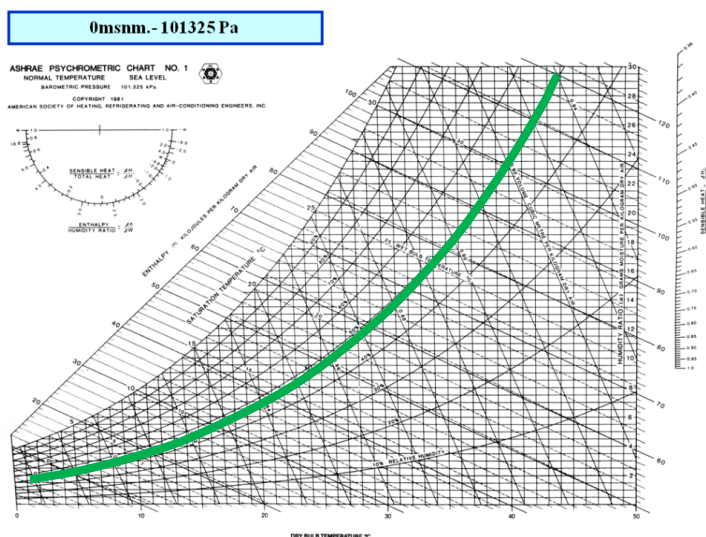


Figura 7-4: Curva de humedad relativa constante.

**Curva de saturación:** Cuando se llega al 100% de humedad relativa, se produce el rocío, ya que el aire ha llegado a la cantidad de agua máxima que puede contener, por lo tanto el vapor de agua se condensa.

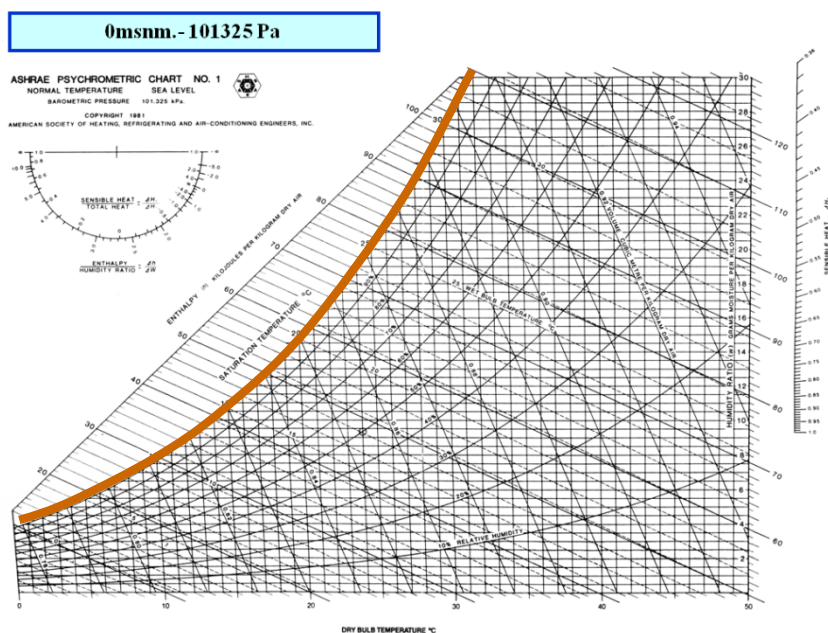


Figura 7-5: Curva de saturación.



**Líneas isoentálpicas:** Prácticamente paralelas a las líneas de temperatura de bulbo húmedo. Nos sirven para conocer la cantidad de energía que tiene el aire. Sus unidades son KJ/Kg

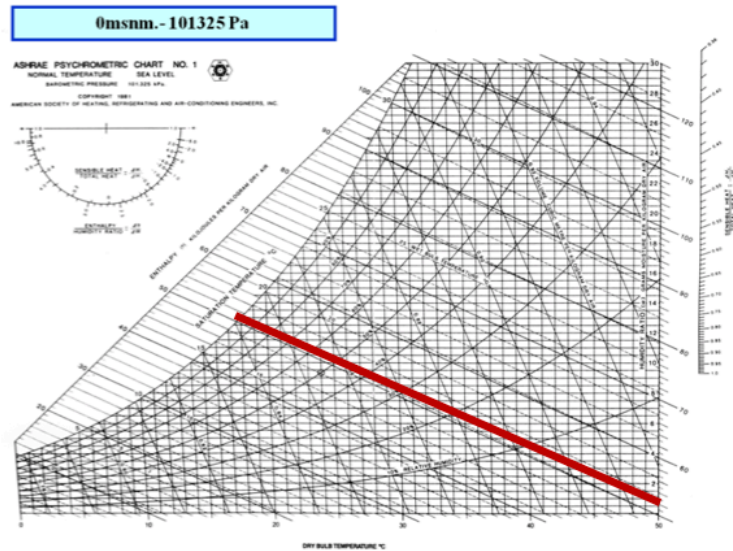


Figura 7-6: Líneas isoentálpicas.



**Líneas de temperatura de bulbo húmedo constante:** La temperatura de bulbo húmedo mide la temperatura que tiene el vapor de agua presente en el aire. Para medirla, se utiliza cubre un termómetro con un paño humedecido. Al aplicarse una corriente de aire al termómetro, el agua del paño humedecido se evapora más o menos rápidamente en función de la humedad relativa del ambiente. Esta temperatura se ha utilizado históricamente en las estaciones meteorológicas para medir la humedad relativa del ambiente así como su temperatura de saturación.

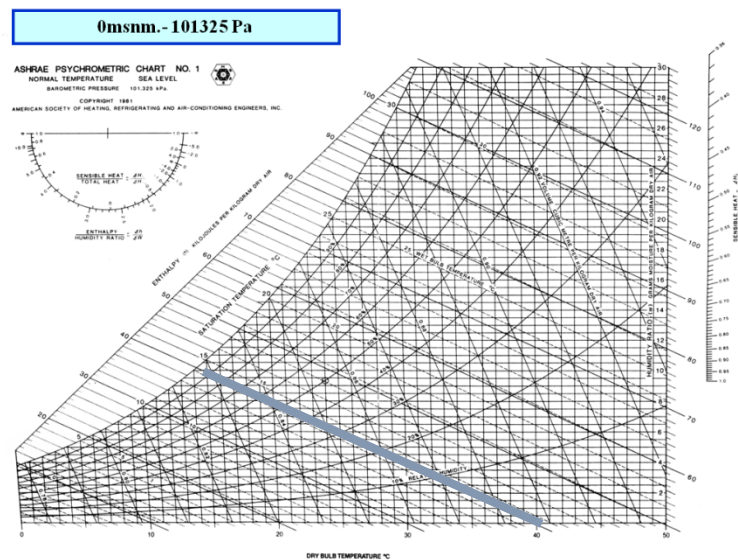


Figura 7-7: Líneas de temperatura húmeda constante.

**Volumen específico del aire:** El volumen específico es el inverso de la densidad. Es un parámetro muy importante ya que en los ventiladores sabemos cuantos metros cubicos hora, pero para hacer los cálculos térmicos necesitamos conocer los kilogramos hora de caudal que se están moviendo.

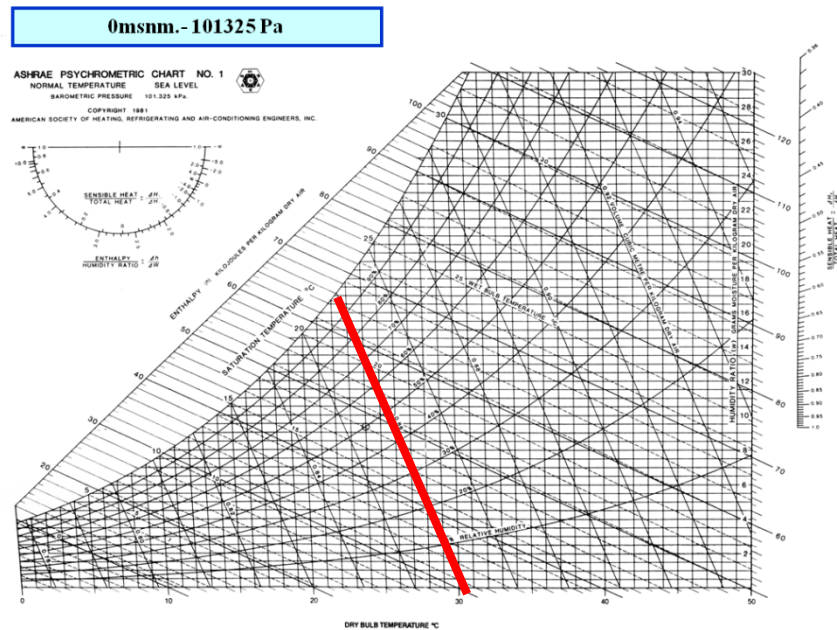


Figura 7-8: Líneas de volumen específico constante.

Gracias a este diagrama, midiendo tan solo dos parámetros y fijando la altitud, es posible conocer el resto de propiedades del aire en un punto determinado de trabajo.

Transformaciones que sufre el aire dentro de la máquina descritas en el diagrama psicrométrico.

A continuación describiremos las distintas transformaciones que sufre el aire al pasar por la máquina utilizando el diagrama psicrométrico. Es muy importante conocerlas ya que a la hora de evaluar el funcionamiento de la máquina, debemos saber que le está sucediendo al aire en cada momento en su interior.

#### *-Enfriamiento sensible:*

Esta transformación sucede en la batería de frío. Durante este proceso, el aire reduce su temperatura, reduciendo así su densidad y la cantidad de agua que puede contener el mismo volumen de aire. Por este motivo, aunque su humedad absoluta (en Kg de agua por Kg de aire) es constante, su humedad relativa aumenta ya que a menor temperatura la densidad es mayor y la cantidad de Kg de vapor de agua que pueden ser contenidos en un Kg de aire es menor, por lo tanto la humedad relativa aumenta.

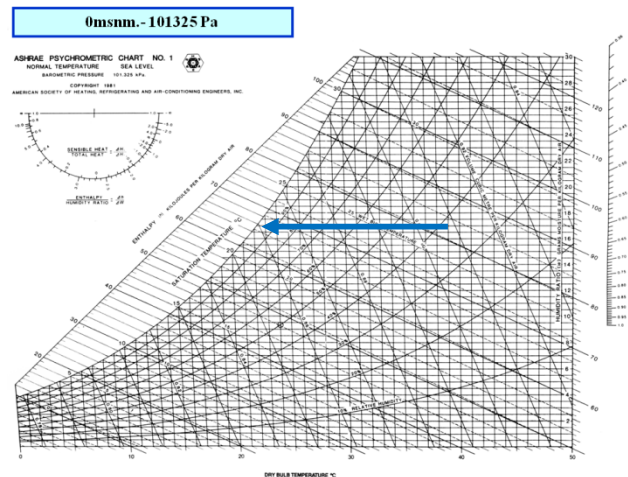


Figura 7-9 Enfriamiento sensible

### -Deshumectación:

Una vez llegados al punto de saturación (humedad relativa del 100%). Si seguimos enfriando el aire, se empieza a producir condensación. De esta forma, aunque la humedad relativa del aire se mantiene en el 100%, la humedad absoluta descende, ya que parte del vapor de agua se condensa, reduciendo la cantidad de agua presente en el aire.

Este proceso también sucede en la batería de frío.

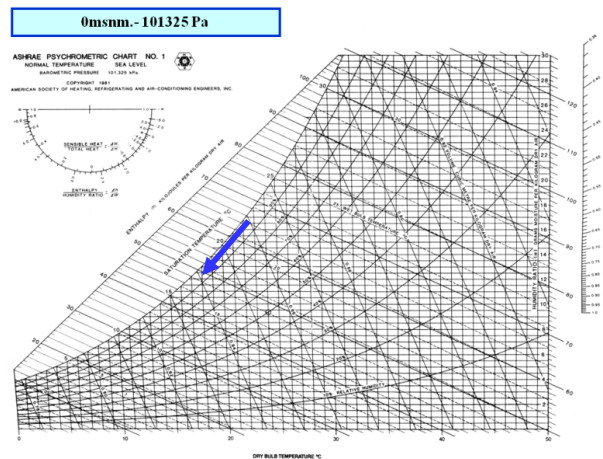


Figura 7-10 Deshumectación

### -Calentamiento sensible:

una vez deshumectado el aire, en muchas ocasiones es necesario aumentar de nuevo su temperatura para que esta sea adecuada para su impulsión al local.

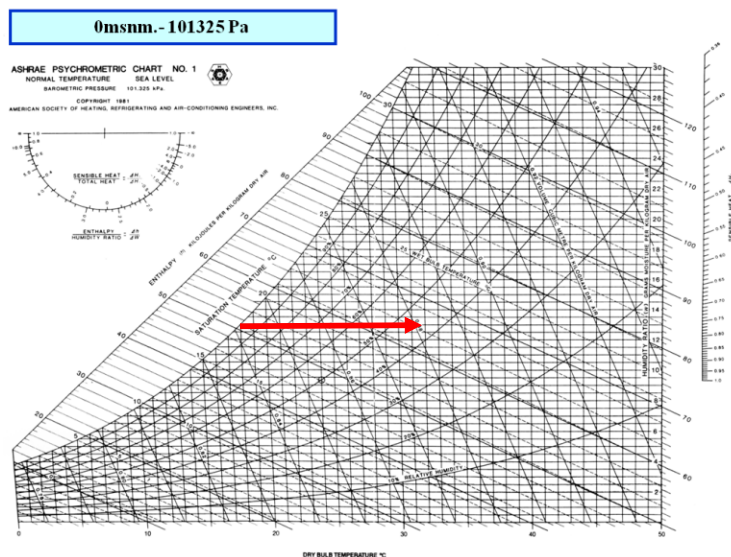


Figura 7-11 Calentamiento sensible

### -Humectación adiabática:

Una vez el aire es impulsado al local, este se humecta adiabáticamente absorbiendo la humedad en el ambiente. En este proceso no existe intercambio de energía, solo aumenta la humedad reduciéndose la temperatura. Este proceso no ocurre dentro de la máquina sino en el local.

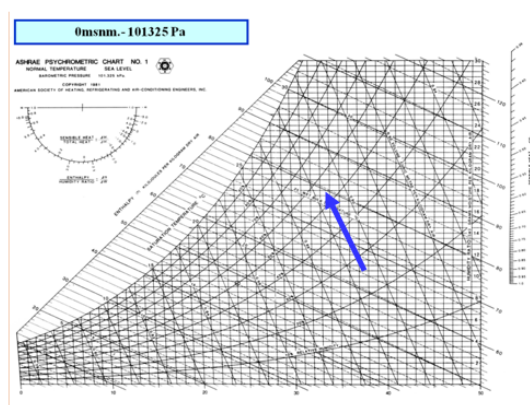


Figura 7-12 Humectación adiabática



Una vez hemos comprendido el funcionamiento de el ciclo de deshumectación integrado en la deshumectadora ya podemos describir el funcionamiento básico de la misma. Como podemos observar en la Ilustración 7-1 el aire que entra en la deshumectadora tiene un alto nivel de humedad. Al pasar por el evaporador, el aire llega al punto de rocío, y al seguir bajando su temperatura el vapor de agua comienza a condensar, reduciéndose así la temperatura absoluta.

### Breve explicación del circuito frigorífico

Una vez hemos comprendido el funcionamiento de el ciclo de deshumectación integrado en la deshumectadora ya podemos describir el funcionamiento básico de la misma. Como podemos observar en la Ilustración 7-1 el aire que entra en la deshumectadora tiene un alto nivel de humedad. Al pasar por el evaporador, el aire llega al punto de rocío, y al seguir bajando su temperatura el vapor de agua comienza a condensar, reduciéndose así la temperatura absoluta.

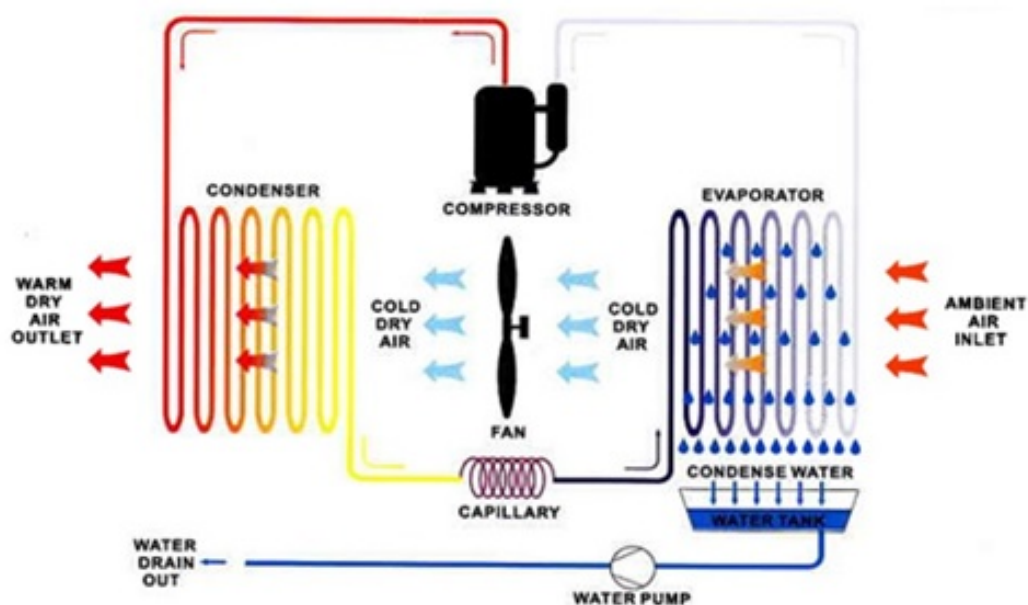


Ilustración 7-1: Funcionamiento del sistema de deshumectación.

Este proceso se explica en el apartado 7.



## Descripción del funcionamiento de la máquina.



La característica que diferencia a las deshumectadoras de las unidades de tratamiento de aire normales es su circuito frigorífico incorporado, ya que enfrían y calientan el mismo aire. Este es el aspecto en el que LCI tiene menos experiencia y supondrá uno de los mayores retos a superar.

Para poder deshumectar el aire y posteriormente calentarlo se utiliza un ciclo de Carnot invertido, lo cual nos permite adquirir calor en el foco frío y expulsar calor en el foco caliente.

El ciclo de Carnot consta de cuatro etapas:

- 1- Expansión isotérmica. 2-3
- 2- Compresión adiabática. 3-4
- 3- Compresión isotérmica. 4-1
- 4- Expansión adiabática. 1-2

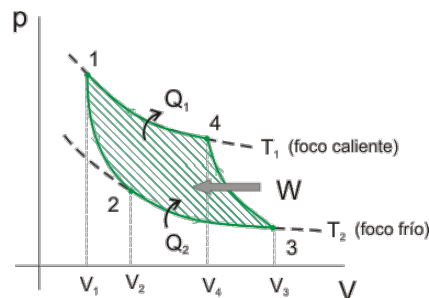


Figura 7-13 Ciclo de Carnot utilizando el diagrama Presión-Volumen

Este ciclo se caracteriza por ser un ciclo isoentrópico y su variación de energía interna es 0, lo cual lo hace reversible. En la deshumectadora incluiremos una máquina frigorífica para poder condensar el agua y así deshumectar. El ciclo de Carnot es un ciclo ideal, y sus resultados son el máximo de eficiencia teórico. Los compresores reales no son totalmente isoentrópicos, por lo tanto habrá pérdidas de eficiencia y el ciclo no será reversible.



Consta de los siguientes elementos.

-**Evaporador** (Batería de frío): En este elemento el refrigerante absorbe calor. Es un proceso isoterma ya que el refrigerante cambia de estado pero no de temperatura, ya que todo el calor absorbido es el calor latente del fluido.

-**Compresor**: Al salir de la evaporadora, el refrigerante se encuentra completamente en estado gaseoso. Es importante asegurarse que no quede nada de refrigerante en estado líquido ya que esto dañaría el compresor. En el compresor se aporta trabajo al ciclo, aumentando la presión y la temperatura del fluido.

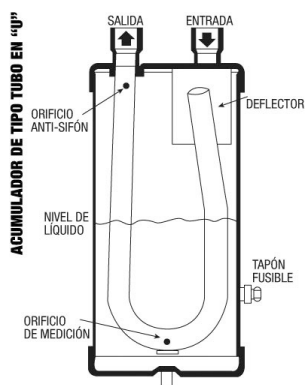
-**Condensador** (Batería de calor): En este elemento el refrigerante expulsa calor. Este calor es mayor al calor absorbido en la evaporadora ya que durante la compresión el refrigerante aumenta su energía interna, de forma que el refrigerante baja un poco su temperatura y después cambia de estado a líquido.

-**Válvula de expansión**: se encarga de reducir la presión, y por consiguiente la temperatura. De esta forma separa al condensador y el evaporador ya que cada uno funciona a temperaturas y presiones distintas.

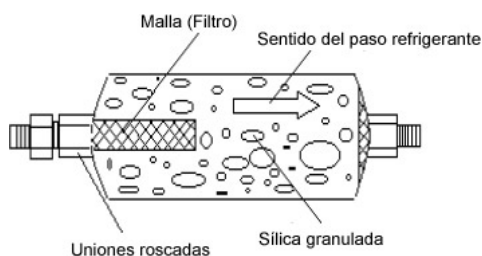
## Elementos adicionales:

En un circuito frigorífico real es necesario incluir otros elementos adicionales para un correcto funcionamiento de la máquina. Estos elementos se encargan de que el refrigerante circule y se encuentre en condiciones óptimas par un correcto funcionamiento del ciclo.

**-Separador de gotas:** A pesar de incluir el sobrecalentamiento, como medida de seguridad es necesario incluir un separador de gotas. Este elemento constituye una barrera física para el refrigerante en estado líquido.



**-Filtro deshidratador:** Este elemento se encarga de absorber la humedad del circuito.



**-Recipiente de líquido:** se encarga de evitar gases en la línea de líquido.

**-Presostato de alta/baja:** Asegurarse que no se excedan las presiones máximas aceptables para el sistema

**-Visor:** este indicador nos informa de si hay humedad en el circuito.

## Introducción al diagrama de Mollier

Los ciclos de refrigeración se representan en el diagrama de Mollier para evaluar su funcionamiento, su eficiencia y otros parámetros para unas determinadas condiciones de funcionamiento.

El diagrama de Mollier se utiliza para describir los estados las características de un refrigerante en cada uno de sus puntos. Al igual que en el psicrométrico, esto nos permite conocer todos los parámetros del gas una vez conocidos dos parámetros.

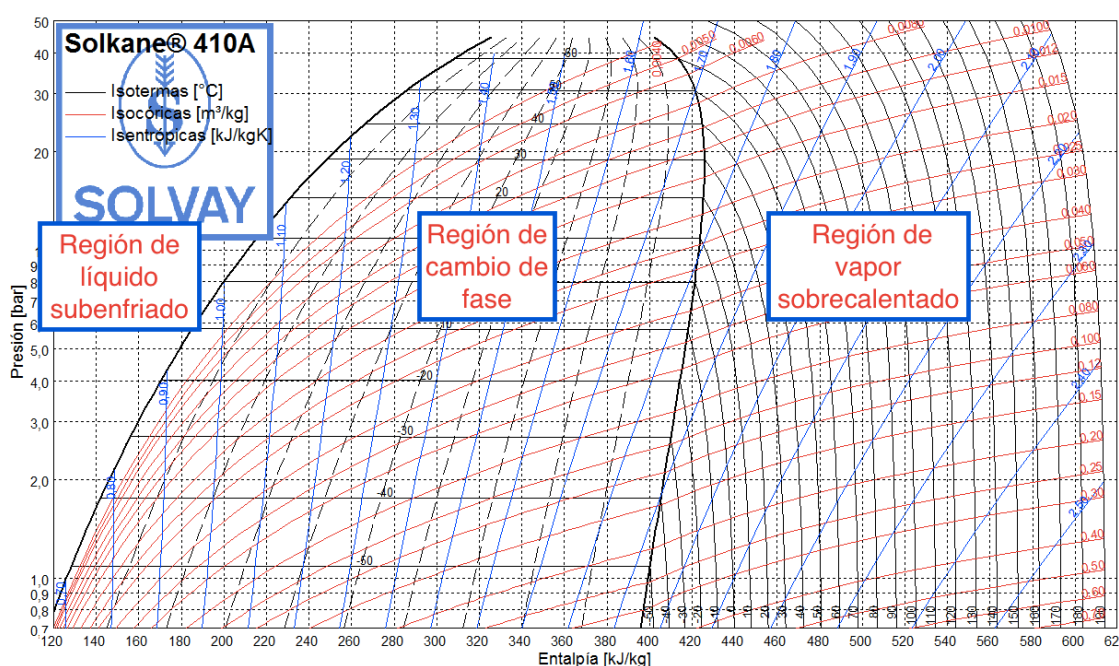


Figura 7-14 Diagrama de Mollier y sus diferentes áreas

El diagrama consta de tres regiones, estado líquido, estado de vapor y mezcla de líquido y vapor.

A continuación se describe cada una de las líneas del diagrama:



## Isotermas

Las líneas isotermas representan los puntos a temperatura constante. Si no existiera deslizamiento, cuando se produce el cambio de estado (Región de transformación liquido-gas) estas líneas serían paralelas al eje de abscisas. Al existir deslizamiento, estas líneas se desvían un poco de su horizontalidad, ya que unos gases se evaporan antes que otros.

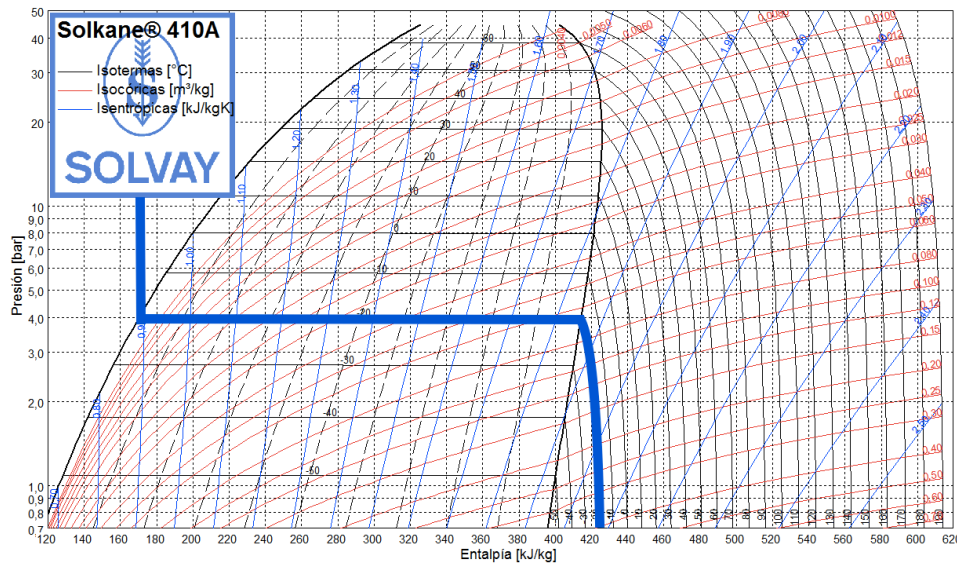
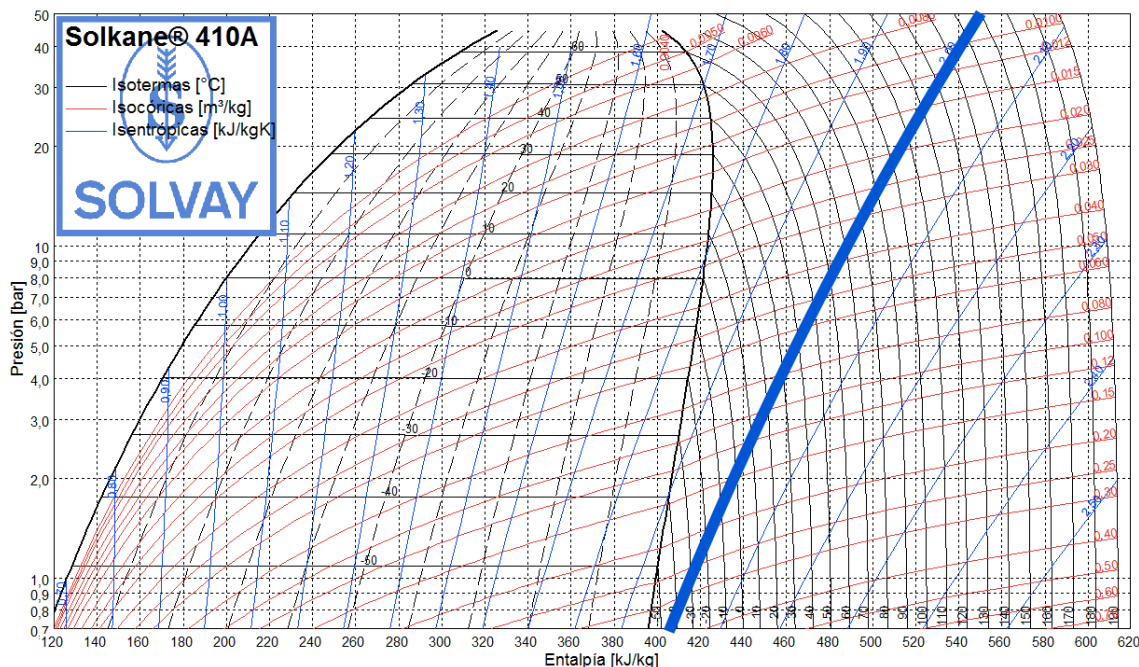


Figura 7-17 Líneas isotermas del diagrama de Mollier.

## Isoentrópicas

Estas líneas representan los procesos que ocurren a entropía constante. En un ciclo ideal, el compresor se comporta como isoentrópico, aumentando la presión y la temperatura a entropía constante.





## Ciclo ideal

El ciclo de refrigeración consta de cuatro elementos principales: compresor, batería de calor, válvula de expansión y batería de calor.

Para describir el ciclo de forma breve, haremos referencia a la Figura 7-18

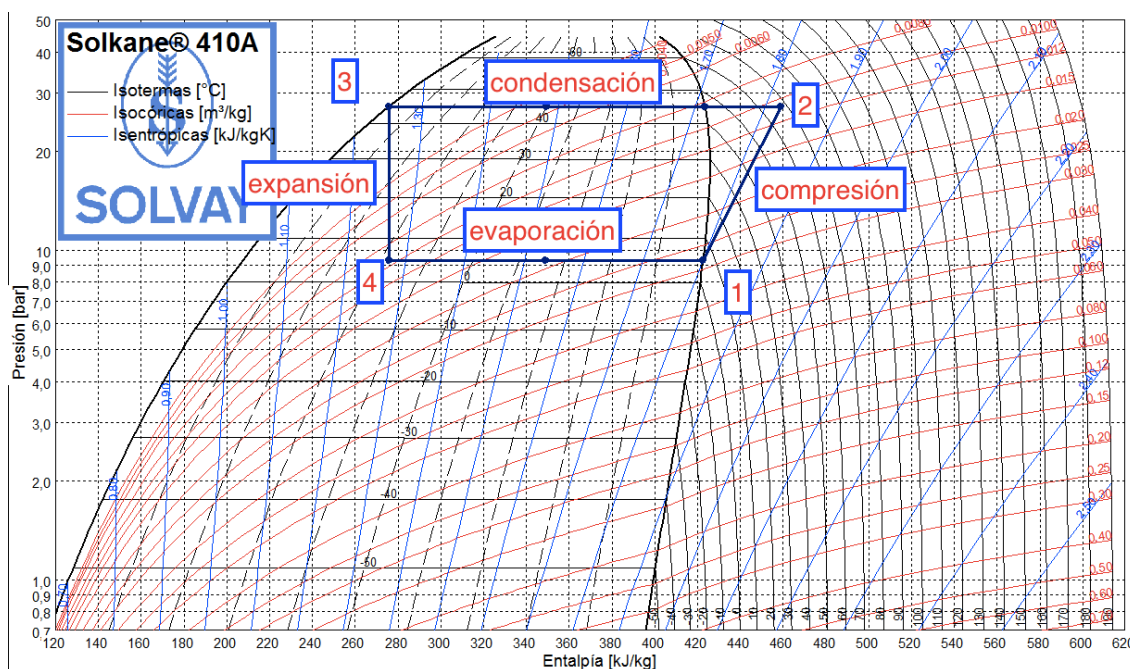


Figura 7-18 Ciclo de refrigeración mostrado en el diagrama de Mollier.

En el punto 1, todo el refrigerante se encuentra en estado gaseoso. En este punto es donde se encuentra la entrada al compresor.

En el compresor se aumenta la presión y la temperatura del refrigerante a entropía constante hasta alcanzar la presión deseada. Este es el punto 2.

El refrigerante sale del compresor a la presión adecuada para que se produzca la condensación (punto 2). En este punto, el refrigerante entra en la condensadora donde comienza a enfriarse hasta que pasa a la zona de transición. Una vez en la región de transición, el refrigerante comienza a transformarse isobárica e isotérmicamente de gas a líquido, perdiendo calor latente. Este proceso termina con el 100% de refrigerante en estado líquido, el cual se encuentra en el punto 3.



Una vez el refrigerante se encuentra estado líquido pasa a la válvula de expansión, donde el refrigerante baja su presión a entalpía constante.

Al salir de la válvula de expansión (punto 4) el refrigerante se encuentra a la presión de evaporación y entra en la evaporadora, donde cambia de estado isobáricamente. Si el refrigerante se tratase de un líquido ideal este proceso también sería isotermo, pero al tratarse de una mezcla de gases, los más volátiles se evaporan antes, produciéndose una diferencia de temperatura a la entrada y salida de la evaporadora conocida como deslizamiento. Una vez que el refrigerante se encuentra completamente en estado gaseoso (punto 1) entra en el compresor y se vuelve a producir el ciclo.

#### Ciclo real

Para un ciclo real, hay que tener algunas consideraciones sobre el ideal:

**-sobrecalentamiento:** Es necesario asegurarse de que el 100% del fluido que entra en el compresor se encuentra en estado gaseoso. Para ello, se aumenta ligeramente el tamaño de la evaporadora, permitiendo que después de el cambio de estado aumente un poco la temperatura. Normalmente este aumento es de mínimo 5°C.

**-Subenfriamiento:** En la condensadora, una vez se ha cambiado de estado, interesa seguir quitando un poco más de energía al refrigerante bajando su temperatura para así aumentar la potencia frigorífica disponible en la evaporadora.

Una vez aplicados el sobrecalentamiento y el subenfriamiento el ciclo queda de la siguiente manera.

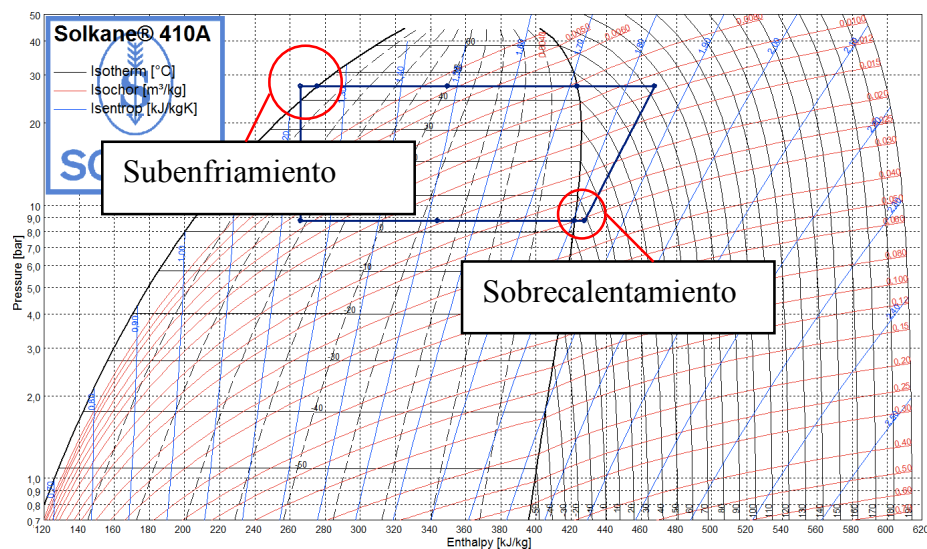


Figura 7-19 Detalle del subenfriamiento y el sobrecalentamiento.



Como hacer un ciclo frigorífico más eficiente.

Para conseguir un circuito frigorífico óptimo hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones.

#### *Temperaturas de evaporación y condensación.*

Cuanto más alta sea la temperatura de evaporación y más baja sea la temperatura de condensación, mayor será el COP del ciclo frigorífico. Esto se debe a que el trabajo del compresor se reducirá conservándose prácticamente intacto el calor absorbido en el evaporador.

Por este motivo se evaporará todo lo alto que se pueda y se condensará todo lo bajo que se pueda. El mayor factor limitante es el salto térmico entre los intercambiadores de calor y el aire. Cuanto más alto evaporemos y más bajo condensemos menos energía eléctrica consumirá nuestro compresor pero el tamaño de las baterías aumentará, aumentándose así la pérdida de carga del fluido dentro de la batería y la cantidad de refrigerante necesaria dentro del ciclo frigorífico.

#### *Subenfriamiento.*

Cuanto mayor sea el subenfriamiento, mayor será el calor absorbido en el evaporador y el cedido en el condensador sin aumentar el trabajo del compresor. El principal problema es que el subenfriamiento es que aumenta mucho el tamaño del condensador sin aumentar mucho la eficiencia. Por este motivo se utilizará el subenfriamiento cuando haya mucho margen en la condensadora. En caso de no haber mucho margen, se utilizará un subenfriamiento mínimo de 5 °C ya que asegura que no llega refrigerante en estado gaseoso a la válvula de expansión.



### *Sobrecalentamiento*

El sobrecalentamiento asegura que no entra refrigerante en estado líquido al compresor. Esto es muy importante ya que si entra refrigerante en estado líquido al compresor este puede verse muy deteriorado. Por ello, se recomienda un sobrecalentamiento mínimo de 5°C. El principal problema del sobrecalentamiento es que, cuanto mayor es, menor eficiencia isoentrópica tiene el compresor ya que su recta queda desplazada a la derecha. Por este motivo, aunque el subenfriamiento aumenta la cantidad de calor absorbido en la evaporadora, reduce un poco el rendimiento del compresor. Al igual que con el subenfriamiento, se utilizará para compensar cuando la batería tenga mucho margen, pero no es recomendable abusar del sobrecalentamiento.



## 8. Marco regulador

A la hora de diseñar una máquina es importante conocer la legislación que rige la misma, ya que es fundamental que nuestro producto cumpla todos los requisitos legales para así poder ser vendida en el mercado español.

La mayoría de las normas que se aplican a las máquinas de deshumectación para piscinas cubiertas están incluidas en el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas de España) de entre las cuales destacan las siguientes:

-temperatura del agua:

*“IT 1.1.4.3.2. Calentamiento del agua en piscinas climatizadas.*

*1. La temperatura del agua estará comprendida entre 24° y 30 °C según el uso principal de la piscina (se excluyen las piscinas para usos terapéuticos). La temperatura del agua se medirá en el centro de la piscina y a unos 20 cm por debajo de la lámina de agua.”*

*“2. La tolerancia en el espacio, horizontal y verticalmente, de la temperatura del agua no podrá ser mayor que  $\pm 1,5$  °C.”*

-temperatura del aire y humedad relativa.

*“IT 1.1.4.1.2. Temperatura operativa y humedad relativa*

*3. La temperatura seca del aire de los locales que alberguen piscinas climatizadas se mantendrá entre 1 °C y 2 °C por encima de la del agua del vaso, con un máximo de 30 °C. La humedad relativa del local se mantendrá siempre por debajo del 65 %, para proteger los cerramientos de la formación de condensaciones.”*

#### -cálculo de la potencia térmica:

Se tendrán en cuenta las siguientes pérdidas:

- Por transferencia del ambiente al vapor de agua
- Por convección a la superficie del vaso
- Por radiación del agua hacia los cerramientos
- Por conducción a través de las paredes del vaso
- Renovación del agua del vaso.

#### -Caudal mínimo de aire exterior=2.5 dm<sup>3</sup>/s

##### *“IT 1.1.4.2.3. Caudal mínimo del aire exterior de ventilación*

*2. En las piscinas climatizadas el aire exterior de ventilación necesario para la dilución de los contaminantes será de 2,5 dm<sup>3</sup>/s por metro cuadrado de superficie de la lámina de agua y de la playa (no está incluida la zona de espectadores). A este caudal se debe añadir el necesario para controlar la humedad relativa, en su caso. El local se mantendrá con una presión negativa de entre 20 a 40 Pa con respecto a los locales contiguos.”*

#### -Exigencia de calidad del ambiente acústico:

*“Las instalaciones térmicas de los edificios deben cumplir la exigencia del documento DB- HR Protección frente al ruido del Código Técnico de la Edificación, que les afecten.”*

#### -Recuperación de energía

*“En las piscinas climatizadas, la energía térmica contenida en el aire expulsado deberá ser recuperada, con una eficiencia mínima y unas pérdidas máximas de presión iguales a las indicadas en la tabla 2.4.5.1. para más de 6.000 horas anuales de funcionamiento, en función del caudal.*

*Alternativamente al uso del aire exterior, el mantenimiento de la humedad relativa del ambiente puede lograrse por medio de una bomba de calor, dimensionada*



*específicamente para esta función, que enfríe, deshumedezca y recaliente el mismo aire del ambiente en ciclo cerrado.”*

-Ahorro de energía en piscinas:

*“IT 1.2.4.5.5. Ahorro de energía en piscinas*

*1. La lámina de agua de las piscinas climatizadas deberá estar protegida con barreras térmicas contra las pérdidas de calor del agua por evaporación durante el tiempo en que estén fuera de servicio.*

*2. La distribución de calor para el calentamiento del agua y la climatización del ambiente de piscinas será independiente de otras instalaciones térmicas.”*

-Calentamiento de piscinas:

*“IT 1.2.4.6.3. Contribución de calor renovable o residual para el calentamiento de piscinas al aire libre*

*Para el calentamiento del agua de piscinas al aire libre sólo podrán utilizarse fuentes de energía renovable o residual; para este último caso se tendrá en cuenta que el diseño no haya sido realizado exclusivamente para este fin.”*

*Lo cual implica que el uso de energías no renovables es exclusive para piscinas cubiertas, como es nuestro caso.*

-pérdidas de carga

*“IT 1.2.4.2.4. Caídas de presión en componentes*

*1. Las caídas de presión máximas admisibles serán las siguientes:*

*Baterías de calentamiento: 40 Pa.*

*Baterías de refrigeración en seco: 60 Pa.*

*Baterías de refrigeración y deshumectación: 120 Pa.*

*Atenuadores acústicos: 60 Pa.*

*Unidades terminales de aire: 40 Pa.*

*Rejillas de retorno de aire: 20 Pa.*

*Al ser algunas de las caídas de presión función de las prestaciones del componente, se podrán superar esos valores.”*



-Velocidad de paso por las baterías

“IT 1.2.4.2.4.

*2. Las baterías de refrigeración y deshumectación deben ser diseñadas con una velocidad frontal tal que no origine arrastre de gotas de agua. Se prohíbe el uso de separadores de gotas, salvo en casos especiales que deben justificarse.”*

-Máxima concentración de CO<sub>2</sub>

“IT 1.1.4.2.2. *Categorías de calidad del aire interior en función del uso de los edificios*

*En función del uso del edificio o local, la categoría de calidad del aire interior (IDA) que se deberá alcanzar será, como mínimo, la siguiente:*

*-IDA 1 (aire de óptima calidad): hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.*

*-IDA 2 (aire de buena calidad): oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.*

*-IDA 3 (aire de calidad media): edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.*

*-IDA 4 (aire de calidad baja) ”*

“IT 1.1.4.2.3. *Caudal mínimo del aire exterior de ventilación*

*C. Método directo por concentración de CO<sub>2</sub>*

*a) Para locales con elevada actividad metabólica (salas de fiestas, locales para el deporte y actividades físicas, etc.), en los que no está permitido fumar, se podrá emplear el método de la concentración de CO<sub>2</sub>, buen indicador de las emisiones de bioefluentes humanos. Los valores se indican en la tabla 1.4.2.3.*

Tabla 8-1 Concentración máxima de CO<sub>2</sub> en función de la calidad de aire interior.

Tabla 1.4.2.3 Concentración de CO <sub>2</sub> en los locales	
Categoría	ppm (*)
IDA 1	350
IDA 2	500
IDA 3	800
IDA 4	1.200

(\*) *Concentración de CO<sub>2</sub> (en partes por millón en volumen) por encima de la concentración en el aire exterior”.*

#### -Recuperación de calor

##### “IT 1.2.4.5.2. Recuperación de calor del aire de extracción

1. *En los sistemas de climatización de los edificios en los que el caudal de aire expulsado al exterior, por medios mecánicos, sea superior a 0,5 m<sup>3</sup>/s, se recuperará la energía del aire expulsado.*

2. *Sobre el lado del aire expulsado se instalará un aparato de enfriamiento adiabático, salvo que se justifique, con un aumento de la eficiencia del recuperador, que se superan los resultados de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.*

3. *Las eficiencias mínimas en calor sensible sobre el aire exterior (%) y las pérdidas de presión máximas (Pa) en función del caudal de aire exterior (m<sup>3</sup>/s) y de las horas anuales de funcionamiento del sistema deben ser como mínimo las indicadas en la tabla 2.4.5.1*

**Tabla 8-2 Eficiencia de la recuperación**

<i>Tabla 2.4.5.1 Eficiencia de la recuperación (numeración del RITE)</i>										
<i>Horas anuales de funcionamiento</i>	<i>Caudal de aire exterior (m<sup>3</sup>/s)</i>									
	<i>&gt;0,5...1,5</i>		<i>&gt;1,5...3,0</i>		<i>&gt;3,0...6,0</i>		<i>&gt;6,0...12</i>		<i>&gt; 12</i>	
	<i>%</i>	<i>Pa</i>	<i>%</i>	<i>Pa</i>	<i>%</i>	<i>Pa</i>	<i>%</i>	<i>Pa</i>	<i>%</i>	<i>Pa</i>
<i>≤ 2.000</i>	<i>40</i>	<i>100</i>	<i>44</i>	<i>120</i>	<i>47</i>	<i>140</i>	<i>55</i>	<i>160</i>	<i>60</i>	<i>180</i>
<i>&gt; 2.000 ... 4.000</i>	<i>44</i>	<i>140</i>	<i>47</i>	<i>160</i>	<i>52</i>	<i>180</i>	<i>58</i>	<i>200</i>	<i>64</i>	<i>220</i>
<i>&gt; 4.000 ... 6.000</i>	<i>47</i>	<i>160</i>	<i>50</i>	<i>180</i>	<i>55</i>	<i>200</i>	<i>64</i>	<i>220</i>	<i>70</i>	<i>240</i>
<i>&gt; 6.000</i>	<i>50</i>	<i>180</i>	<i>55</i>	<i>200</i>	<i>60</i>	<i>220</i>	<i>70</i>	<i>240</i>	<i>75</i>	<i>260</i>

4. En las piscinas climatizadas, la energía térmica contenida en el aire expulsado deberá ser recuperada, con una eficiencia mínima y unas pérdidas máximas de presión iguales a las indicadas en la tabla 2.4.5.1. para más de 6.000 horas anuales de funcionamiento, en función del caudal.

5. Alternativamente al uso del aire exterior, el mantenimiento de la humedad relativa del ambiente puede lograrse por medio de una bomba de calor, dimensionada específicamente para esta función, que enfríe, deshumedezca y recaliente el mismo aire del ambiente en ciclo cerrado.”



## 9. Descripción del funcionamiento de la máquina

## Funcionamiento de la máquina descrito utilizando el diagrama psicrométrico en distintas situaciones ambientales

Para desarrollar una máquina es importante conocer su funcionamiento en los distintos ambientes en los que se va a encontrar.

Para ello primeramente describiremos las transformaciones que sufre el aire al pasar por la máquina. Gracias a ello y con ayuda del psicrométrico conoceremos las características del aire en cada punto de la máquina.

Seguidamente, describiremos el funcionamiento de la máquina en cada una de las condiciones ambiente en las que se encontrará, esto es:

- **100% recirculación:** Este modo de funcionamiento no es posible de acuerdo con la legalidad descrita en el RITE. De todas maneras es importante conocer el funcionamiento de la máquina bajo estas condiciones ya que la competencia ofrece sus datos de funcionamiento con un 100% recirculación, de manera que para compararnos con la competencia es necesario calcular con un todo recirculación.
- **Invierno:** en este caso, el aire exterior se encuentra a una temperatura muy pequeña, pero con una humedad absoluta reducida. Por este motivo se deshumectará utilizando el compresor y aire exterior. Este aire exterior será necesario calentarlo para impulsar a una temperatura adecuada y además compensar las pérdidas de calor al exterior a través de muros, por renovación de agua etc.
- **Verano:** En este caso el aire exterior tiene una elevada humedad y temperatura. Por ello será necesario utilizar el circuito frigorífico para reducir la entalpía del aire de impulsión.

## Entornos de funcionamiento:

Una vez conocidas todas las transformaciones que sufre el aire dentro y fuera de la máquina podemos proceder a analizar su funcionamiento en cada uno de los ambientes en los que se va a encontrar. Para invierno y verano se utilizarán las condiciones límites con una percentil 99% según el IDAE.

### 100% Aire recirculado

En el proceso de deshumectación el objetivo es reducir la humedad absoluta del aire, representada en el eje de ordenadas. Para lograrlo, se sigue un proceso de 3 etapas.

- 1: enfriar el aire hasta la temperatura de saturación, Una vez en la temperatura de saturación, donde la humedad relativa es del 100%,
- 2: continuar enfriando, lo cual hace que el agua presente en el aire se condense, reduciendo así la humedad absoluta.
- 3: postcalentamiento: una vez deshumectado, el aire se calienta a la temperatura adecuada.

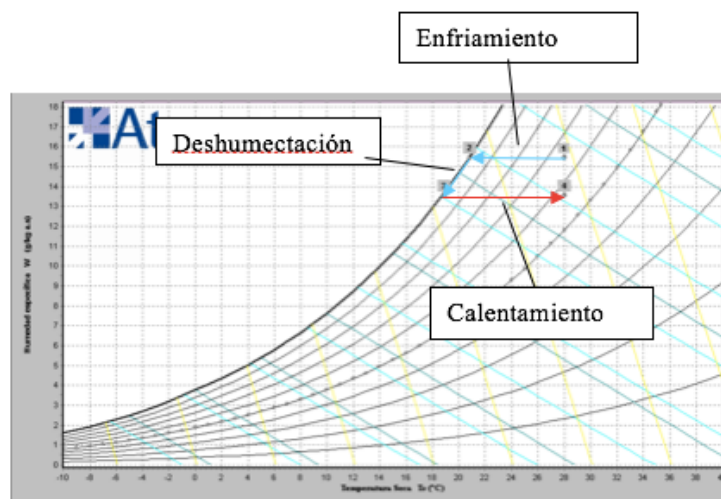


Figura 9-1 Ciclo del aire con 100% recirculación



## Invierno

### Cargas térmicas de la piscina

Para conocer la potencia requerida es necesario calcular las cargas térmicas que tiene la piscina en invierno, ya que serán iguales a la potencia calorífica que hay que aportar a la piscina para compensarlas.

#### **Las principales pérdidas son las siguientes:**

-Pérdidas por evaporación del agua

Al evaporarse, el agua absorbe calor latente para cambiar de estado.

-Pérdidas por radiación de calor

La temperatura interior del local es superior a la temperatura exterior en la mayoría de los casos, por lo tanto, el calor interior radia al exterior.

-Pérdidas por convección de calor

Por el mismo motivo que en el caso anterior, los muros de la piscina tienen pérdidas al exterior mediante convección.

-Pérdidas por transmisión

El vaso de la piscina, al estar en contacto con el suelo y a una temperatura muy superior, tiene pérdidas por transmisión al suelo.

-Pérdidas por renovación del agua

Como esta estipulado en el RITE, todos los días un se debe renovar un 5% del agua del vaso.

#### **Condiciones interiores:**

$T=28^{\circ}\text{C}$   $\text{HR}=65\%$

#### **Condiciones exteriores medias:**

$5,6^{\circ}\text{C}$   $\text{HR}=77\%$

#### **Condiciones de mezcla metiendo el mínimo establecido por el RITE:**

$T=24.64^{\circ}\text{C}$   $\text{HR}=70.71\%$

Cuando la piscina tenga muchas pérdidas de calor, será necesario impulsar el aire a unas temperaturas superiores a la temperatura de salida del condensador, de modo que se instalará una batería de apoyo que calentará el aire con el agua de la caldera.

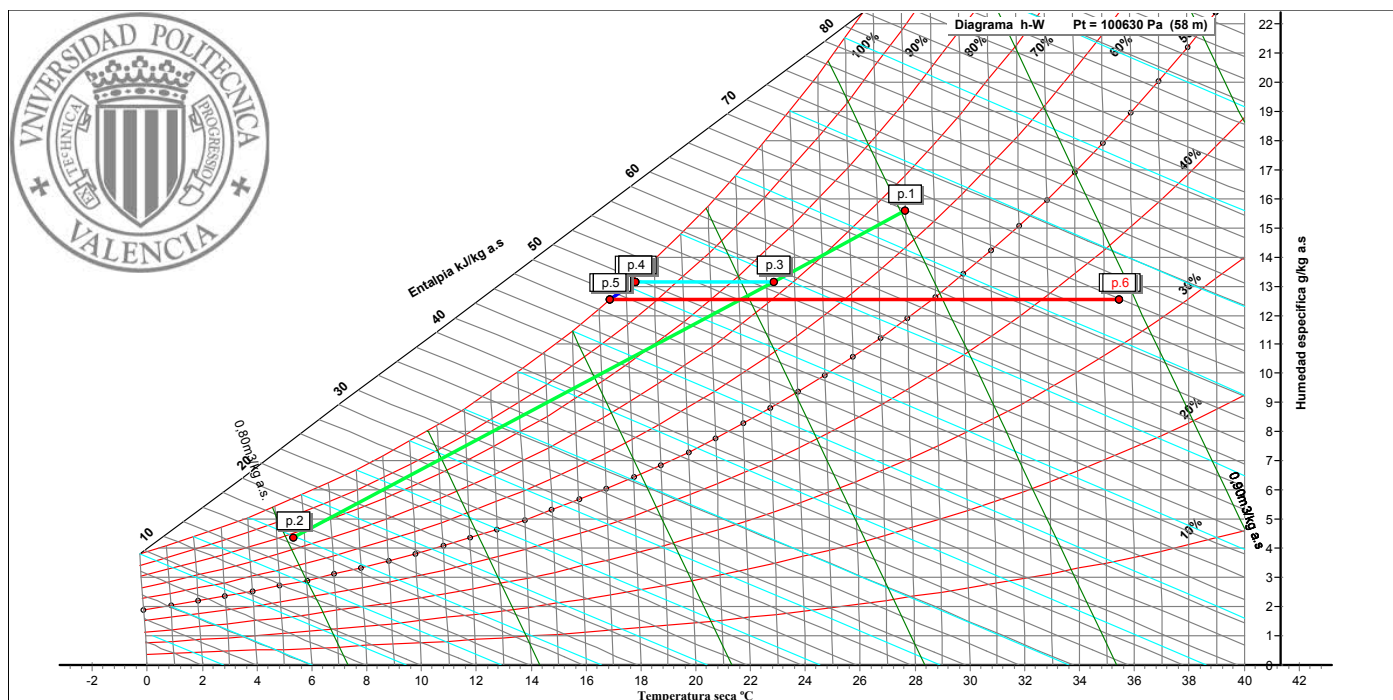


Figura 9-2 Ciclo del aire en invierno descrito con el diagrama psicrométrico

- 1- aire interior
- 2- Aire exterior
- 3- Aire de mezcla
- 4- Aire en el punto de rocío
- 5- Salida de la evaporadora
- 5'- Salida de la condensadora
- 6- Salida de la batería de postcalentamiento

Cuando las pérdidas de calor sean elevadas, será necesario impulsar el aire a unas temperaturas superiores a la temperatura de salida del condensador, de modo que se instalará una batería de apoyo que calentará el aire con el agua de la caldera.



Por otro lado, a pesar de que el aire exterior tiene una elevada humedad relativa, su humedad absoluta es muy baja. Esto se debe a que al ser más denso, la cantidad de vapor que puede alojar es menor.

Este fenómeno es muy conveniente, ya que al introducir aire exterior se produce parte de la deshumectación. Tanto es así que en las piscinas situadas en climas secos que solo vayan a ser utilizadas en invierno se instalan deshumectadoras sin sistema frigorífico.

Aunque un equipo sin sistema frigorífico es más barato, es menos eficiente energéticamente ya que es necesario calentar el aire exterior, el cual tiene una temperatura y entalpía muy reducida. Debido a que la deshumectadora va a poseer un sistema frigorífico integrado, se utilizara solo el mínimo aire exterior exigido por el RITE, ya que es más eficiente energéticamente utilizar el sistema frigorífico y deshumectar el aire interior que calentar un aire exterior muy frío.

En la figura Figura 9-2 Ciclo del aire en invierno descrito con el diagrama psicrométrico se describe el ciclo del aire en la piscina en invierno.

#### Puntos 1+2=>3

La primera transformación que sufre el aire es la mezcla del aire interior con el aire exterior. Debido a que la cantidad de aire interior es muy superior a la cantidad de aire exterior el punto 3 está más cerca del punto 1 que del punto 2.

#### Punto 3=>4: Enfriamiento sensible

En esta transformación el aire se enfría de forma sensible, esto es, sin cambios de estado. Por tanto todo el calor que pierde contribuye a disminuir su temperatura. En el punto 4 el aire llega al punto de rocío, lo que significa que su humedad relativa es muy cercana al 100%.

#### Punto 4=>5 Condensación (enfriamiento sensible + latente)

Una vez el agua ha llegado al punto de rocío (100% humedad absoluta) si continuamos quitándole calor esta se condensa, reduciéndose así su humedad absoluta.



A pesar de que la humedad relativa es la misma, el aire se ha deshumidificado ya que su humedad absoluta ha bajado.

Para calcular el punto 5 asumimos una humedad relativa del 90%. Al ser el calor absorbido en la evaporadora conocido, y conociendo el punto 3, es posible calcular el punto 5 utilizando la siguiente fórmula:

$$Q = \dot{m} * (h_5 - h_3)$$

Punto 5=>6

Una vez que el aire ha salido de la evaporadora, bajando su humedad absoluta, es necesario postcalentado en la condensadora (1º) y la batería de apoyo de agua (2º) para expulsarlo al local a una temperatura y entalpía adecuada.

*1º Condensadora del circuito frigorífico.*

Una vez el aire ha bajado su humedad absoluta, es necesario calentarlo para expulsarlo al local a una temperatura adecuada. Para ello se aprovecha el calor emitido en el condensador.

El calor emitido al aire en el condensador es conocido gracias al circuito frigorífico utilizando el diagrama de Mollier. Para calcularlo, una vez conocida la potencia frigorífica, utilizaremos el programa Solkane.

Una vez quede definido nuestro circuito frigorífico (Ver apartado: “

Circuito frigorífico”) podremos calcular la potencia necesaria en la batería de calor. El calor emitido al aire en el condensador es conocido gracias al circuito frigorífico utilizando el diagrama de Mollier, y está descrito en el apartado Selección de la condensadora provisional.

Una vez conocido el calor aportado en el condensador es posible calcular la entalpía del aire a la salida de la batería.

$$Q = \dot{m} * (h_{5'} - h_5)$$

Al salir de la condensadora el aire entrará en la batería de apoyo, la cual calienta el aire utilizando el agua de la caldera.

#### *2º Batería de apoyo.*

Al salir del condensador, el aire sigue necesitando más calor, ya que la piscina se esta enfriando debido a las pérdidas de carga, y estas deben ser compensadas utilizando un aire de impulsión con una entalpía superior a la entalpía interior.

Para conocer el punto 6', primeramente es necesario conocer las pérdidas de calor de la piscina, las cuales son especificados en el proyecto de la ingeniería.

Al ser conocido el caudal y el calor que es necesario aportar a la piscina podemos calcular la entalpía del punto 6:

$$Q = \dot{m} * (h_6 - h_{5'})$$

De este modo, es posible calcular el calor que es necesario aportar con la batería de apoyo.

Para realizar este calculo, utilizaremos la diferencia de entalpía entre el punto 6' y el punto 5'.

$$Q_{\text{caldera}} = (h_6 - h_{5'}) * \dot{m}$$



Punto 6=>1

Una vez que el aire se impulsa al local, este se humecta adiabáticamente hasta llegar de nuevo al punto 1.

En el apartado “Batería de apoyo” se calculará la batería de apoyo necesaria en nuestro sistema.



## Verano

Cuando la piscina tenga demasiado aporte de energía por el sol, no será necesario calentar el aire después del evaporador ya que es necesario reducir la temperatura de la piscina. Esto supone un problema porque es necesario disipar el calor del circuito frigorífico, por lo tanto se presentan varias opciones, como una batería externa para disipar el calor a la calle o aprovechar este calor para calentar la piscina. Estas opciones serán evaluadas más adelante durante el diseño de la deshumectadora.

### **Perdidas de calor:**

-Transmisión, reposición de agua, evaporación de agua,

### **Aportes de calor:**

-Solar

### **Condiciones interiores:**

$T=28^{\circ}\text{C}$   $\text{HR}=65\%$

### **Condiciones exteriores:**

$26^{\circ}\text{C}$   $\text{HR}=20.5\%$

### **Condiciones de mezcla:**

$T=27.71^{\circ}\text{C}$   $\text{HR}=64.5\%$

En el siguiente diagrama psicrométrico observamos el ciclo:

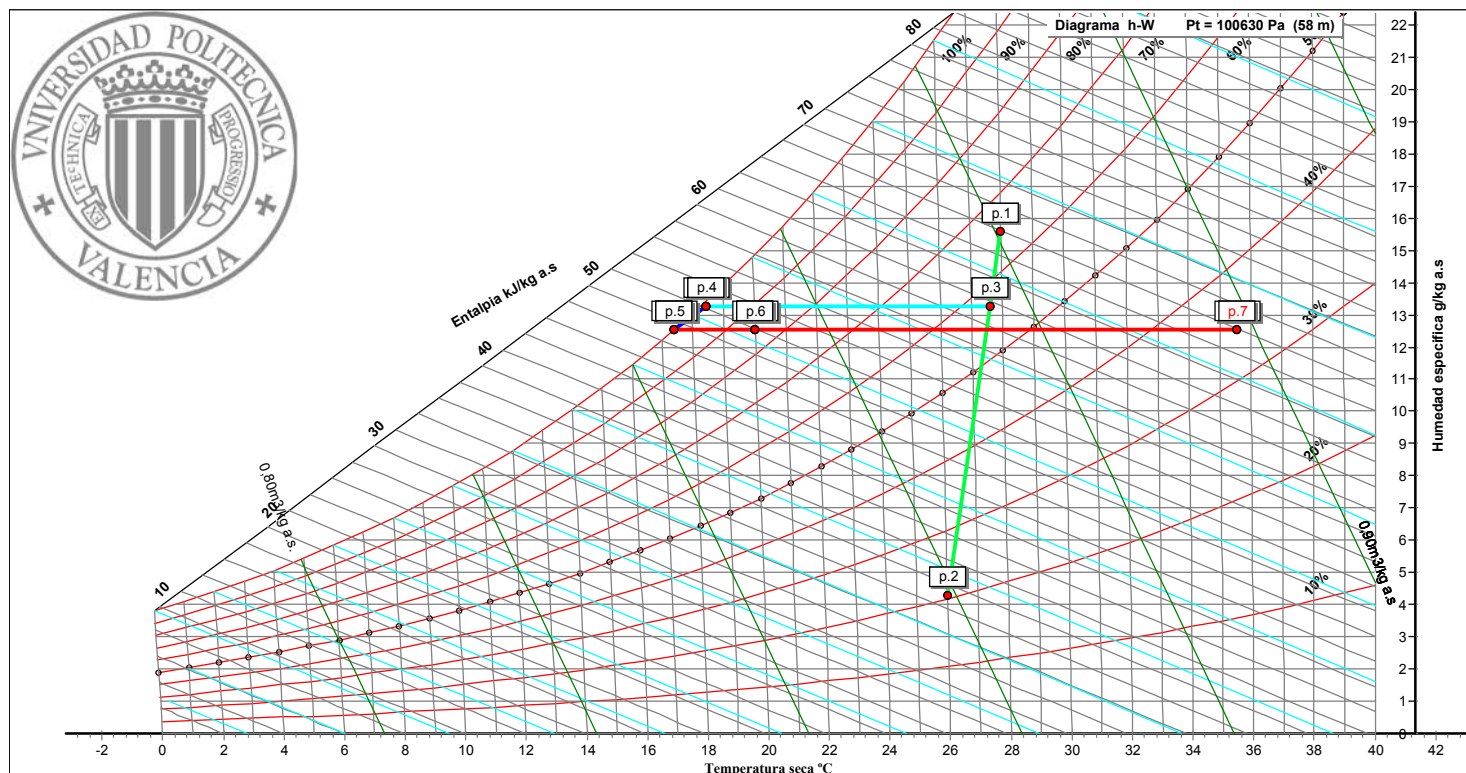


Figura 9-3 Ciclo del aire en verano

- 1- aire interior
- 2- Aire exterior
- 3- Aire de mezcla
- 4- Aire en el punto de rocío
- 5- Salida de la evaporadora
- 6- Salida de la condensadora e impulsión al local
- 7- impulsión al local

Puntos 1+2=>3

Al igual que en invierno, el primer paso es mezclar el aire recirculado con el exterior, obteniendo así el aire de mezcla que entrará en el sistema térmico.

Punto 3=>4 enfriamiento sensible:

En este proceso todo el calor que es quitado al aire contribuye a reducir su temperatura seca ya que la humedad absoluta se mantiene constante. Al finalizar este proceso la humedad relativa será del 100% y comenzará la condensación.

Punto 4=>5 Condensación del agua.

Se continúa quitando calor al aire, de manera que al estar este saturado, empieza a condensarse reduciéndose así su humedad absoluta.

Punto 5 => 6: Condensadora.

Es necesario disipar el calor del sistema frigorífico, por lo tanto utilizaremos la batería de calor para disipar el mismo. La diferencia que hay entre verano e invierno es que en este caso no es conveniente expulsar todo el calor del circuito frigorífico al aire de impulsión, ya que se quiere impulsar un aire de baja entalpía para compensar las ganancias de calor producidas por el sol.

Por esta razón en ocasiones se instalará un aerotermo en el exterior con el cual se disipará el calor que no se quiera en la impulsión.

El punto 6 corresponde al aire de impulsión al local después de haber absorbido el calor deseado en la batería de calor.

Punto 6=>7: Calentamiento sensible por el sol

En el proceso real, el calentamiento sensible por el sol y el enfriamiento adiabático suceden simultáneamente (6=>7 y 7=>8) , pero se han separado por mayor facilidad de cálculo.



Una vez el aire es impulsado al local este se calienta sensiblemente por el sol, ya que este está incidiendo sobre la piscina y esto aporta mucha energía.

#### Punto 7=>1: Enfriamiento adiabático

Una vez el aire se ha calentado, se humecta adiabáticamente hasta la temperatura y humedad interior adecuada. El enfriamiento adiabático es un proceso donde la energía se mantiene constante. La temperatura se reduce ya que la humedad aumenta. De esta manera se compensa el agua evaporada en la piscina.





## 10. Diseño del sistema térmico

## Calculo del agua evaporada

La principal función de las deshumidificadoras, como su nombre indica, consiste en reducir la humedad del aire condensando el vapor de agua presente en el mismo. Este será mayor cuanto mayor sea la temperatura del vaso de la piscina.

Esto se debe a que el agua, al estar a 26°C, la cantidad de agua evaporada es elevada. La cantidad de agua evaporada también depende del número de personas, grado de agitación del agua y la velocidad del aire.

A continuación se presentan los distintos métodos de cálculo de agua evaporada utilizados actualmente:

Existen varios métodos de cálculo de la masa de aire evaporada:

- **Dalton**

$$Me = (0,033 * (Pse - \varphi * Psa)) * S$$

Donde:

Me= masa de agua evaporada (kg/h)

-Pse=presión del vapor saturado a la temperatura del agua (mmHg)

-Psa= presión del vapor saturado a la temperatura del aire ambiente

(mmHg)

$-\varphi$  = Grado de saturación.

-S = Superficie del agua

- **CIAT**

$$Me = 0,0178 * \left(1 + \frac{v}{1,16}\right) * (Pse - Psa) * S$$

Donde:

-Me= masa de agua evaporada (kg/h)

-v= velocidad del aire sobre la superficie del agua (m/s)

-Pse=presión del vapor saturado a la temperatura del agua (mmHg)

-Psa= presión del vapor saturado a la temperatura del aire ambiente (mmHg)

-S = Superficie del agua

- **Bernier**

$$Me = S * [(16 + 133 * n) * We - \varphi * Wa] + 0,1N$$

Donde:

-Me= masa de agua evaporada (kg/h)

-S = superficie de la piscina (m<sup>2</sup>)

-We= humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua (kg<sub>w</sub>/kg<sub>a</sub>)

-Wa= humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del aire interior (kg<sub>w</sub>/kg<sub>a</sub>)

-\varphi = Grado de saturación.

-n= n° de nadadores por metro cuadrado de superficie de lámina de agua.

-N = n° total de ocupantes por m<sup>2</sup> de superficie de lámina de agua.

El método de Bernier es el más utilizado ya que tiene en cuenta los escenarios en los que hay:

- Baja agitación del agua con el coeficiente 16.
- Alta agitación con el coeficiente 133.

Normalmente a la hora de realizar el cálculo de agua evaporada se calcula utilizando los tres métodos y se utiliza el resultado de el método que haya dado una cantidad de agua evaporada mayor.

Debido a la gran cantidad de aire evaporado, las máquinas de climatización que se instalan en las piscinas cubiertas tienen la capacidad de condensar el agua contenida en el aire reduciendo así su humedad absoluta.

Una vez condensado el agua, es necesario calentarla hasta sensiblemente para impulsarla al local a una temperatura adecuada.

#### Calculo de la humedad absoluta de impulsión:

Una vez conocido el caudal y el agua evaporada, es posible calcular la humedad absoluta que ha de tener el aire de impulsión para compensar el aumento de humedad producido por el aire evaporado.

Tenemos la masa de agua evaporada, la cual debe indicar el arquitecto.

$$M_e = 8,84 \text{ kg/h}$$

Tenemos el caudal Q de aire

$$Q = 2500$$

Cambio de unidades

La diferencia de humedad absoluta entre el aire de impulsión y el aire de retorno ha de compensar el caudal de agua evaporada, por tanto hemos de conocer cuantos kg se evaporan por cada kg de aire que circula por la piscina. Para ello se hace el siguiente cambio de unidades:

$$W_{\text{evaporada}} = \frac{M_e}{Q \cdot \rho} = \frac{8,84 \left( \frac{\text{kg}_{\text{agua}}}{\text{h}} \right)}{2500 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \cdot 1,13 \left( \frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{\text{m}^3} \right)} \cdot \frac{1000 (\text{g}_{\text{agua}})}{1 (\text{kg}_{\text{agua}})} = 3,12 \left( \frac{\text{g}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{aire}}} \right)$$

Por tanto, si la piscina evapora 3,12 g de agua por cada kg de aire que circula, la diferencia de humedad absoluta entre el aire de impulsión y el aire de retorno se calcula como:

$$W_{impulsión} = W_{retorno} - W_{evaporada}$$

$$W_{impulsión} = 15,65 \left( \frac{g_{agua}}{kg_{aire}} \right) - 3,12 \left( \frac{g_{agua}}{kg_{aire}} \right)$$

$$W_{impulsión} = 12,53 \left( \frac{g_{agua}}{kg_{aire}} \right)$$

### Calculo de la potencia frigorífica necesaria

A partir del método de Bernier se ha calculado el agua evaporada (paso 1). Conociendo el agua evaporada y el caudal de aire necesario, se conoce la humedad absoluta que tiene que tener el aire de impulsión (paso 2).

Para calcular la potencia frigorífica necesaria en la batería de frío, es necesario conocer la entalpía antes y después de la misma.

h1: La entalpía antes de la batería de frío es la del aire interior, ya que se está asumiendo un 100% de recirculación.

h2: De el punto 5 conocemos su humedad absoluta. La función de la batería de frío es llevar el aire al punto de saturación, por tanto se asumirá que tiene una humedad relativa del 90%.

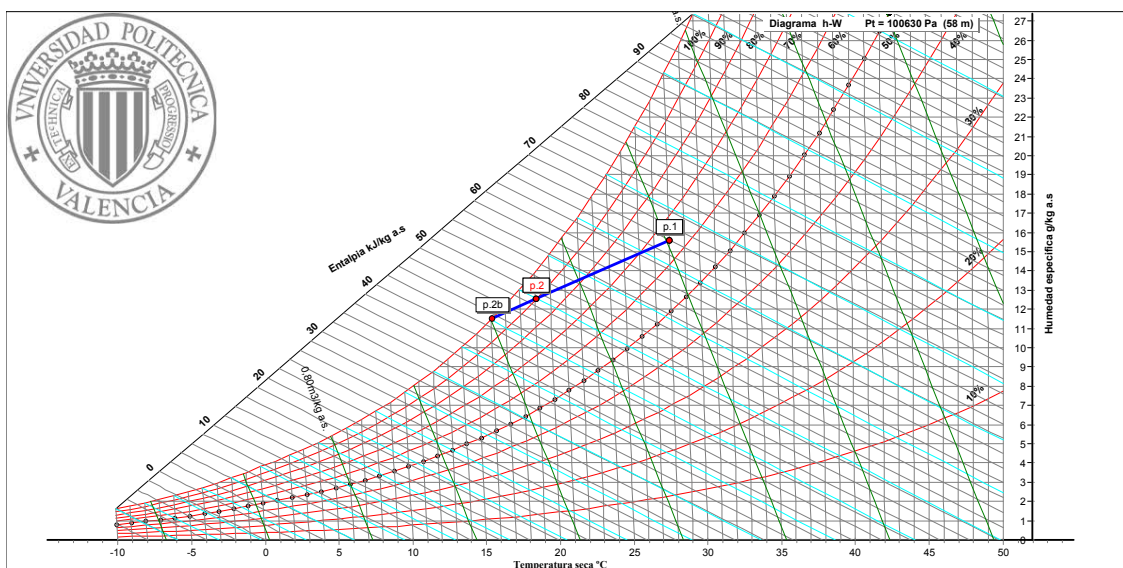


Figura 10-1 Proceso de enfriamiento descrito en el diagrama psicrométrico

Tabla 10-1 Detalle de los parámetros del aire en cada uno de los puntos del psicrométrico

<u>Transformaciones realizadas</u>										
Presión total = 100630 Pa equivalente a 1006 mbar correspondientes a una altitud de 58 m										
Punto	Ts(°C)	Hr (%)	W(g/kgas)	Th(°C)	Tr(°C)	h(kJ/kgas)	Pv(Pa)	Den(kgas/m <sup>3</sup> )	ve(m <sup>3</sup> /kgas)	Caudal(m <sup>3</sup> /h)
1	28	65	15,58	22,88	20,81	67,93	2458	1,1359	0,8804	
2	19,07	90	12,53	17,96	17,4	50,97	1987	1,1762	0,8502	

Del diagrama psicrométrico hayamos que las densidades y entalpías de estos puntos son:

-Punto 1:

- $h_1 = 67,93 \left( \frac{kJ}{kg} \right)$
- $\rho = 1,1359 \left( \frac{kg}{m^3} \right)$

-Punto 2:

- $h_2 = 50,97 \left( \frac{kJ}{kg} \right)$
- $\rho = 1,1762 \left( \frac{kg}{m^3} \right)$

Densidad media:

$$\bar{\rho} = 1,15605 \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$



Gasto másico en kg/s:

$$\dot{m} = 2500 \text{ (m}^3/\text{h)} \cdot \frac{1,15605 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{3600 \left(\frac{\text{s}}{\text{h}}\right)}$$

$$\dot{m} = 0.8028 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$$

$$Q = (h_1 - h_2) \cdot \dot{m}$$

$$Q_{fgorífico} = \left(67,93 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right) - 50,97 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)\right) \cdot 0.8028 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$$

$$Q_{fgorífico} = -13,615 \text{ kW}$$

## Circuito frigorífico

Una vez conocida la potencia necesaria requerida en la batería de frío, el siguiente paso lógico es diseñar el circuito frigorífico con el cual se generará dicha potencia de refrigeración.

### *Selección del refrigerante*

A la hora de diseñar el circuito frigorífico, es importante decidir adecuadamente que refrigerante utilizar. Por ello, vamos a comparar los dos más utilizados en el sector de la climatización y en función de sus características se decidirá cual es el más adecuado.

### *Introducción a los refrigerantes R407C y R410A:*

El R407C y 410A son los dos gases refrigerantes más utilizados actualmente en aplicaciones de climatización. Ambos gases surgieron como alternativa al R22, el cual fue prohibido por la UE el 1 de enero de 2010 debido a su alto ODP (Ozono Depletion Potencial) de 0.055. Ambos gases R407C y 410A tienen un ODP de 0.

Ambos gases refrigerantes son HFC (Hidro Fluoro Carbonados).

### *R407C:*

Esta formado por una mezcla no azetropica de tres gases: R32 (23%), R125 (25%) y R134a (52%).

De los gases utilizados actualmente, es no azetrópico, con un deslizamiento de 7,4°C, esto es, una diferencia de temperaturas de evaporación a misma presión de 7,4°C.

Un gas azetrópico es aquel que es mezcla líquida de dos o más componentes que hierven a temperatura constante y se comportan como si se tratara de uno solo

El deslizamiento es un factor importante a tener en cuenta en los gases no azetrópicos como son el R407C. Cada uno de los gases elementales tiene su temperatura de condensación y evaporación a cierta presión, por lo tanto, al evaporarse el R407, los gases más volátiles se evaporan primero, mientras que los menos volátiles siguen en estado líquido, generando así una mezcla liquido gas en la batería de frío y calor.





Químicamente es bastante estable. A pesar de que el R32 es inflamable, la composición total del gas ha sido formulada para que el R407C no sea inflamable a pesar de que se produzcan fracciones de la mezcla.

Al tratarse de un fluido no miscible con el aceite, debe utilizarse con aceites poliésteres.

#### R410A:

Surgió posteriormente al R407. Una de sus principales características es ser libre de cloro, siendo así mas respetuoso con el medio ambiente. Esta compuesto de R32 (50%) y R125 (50%).

El R410A es una mezcla azetrópica, por tanto al evaporarse lo hace como si fuera un gas elemental. Esto tiene muchas ventajas, entre las que cabe destacar la mejora del rendimiento de los compresores y su mayor facilidad de carga.

Su densidad de vapor es mayor que la del R407c, lo cual hace que sus tuberías sen de menor diámetro, las pérdidas de carga menores y, las velocidades de paso sean más altas.

Por otro lado, su coeficiente de transferencia de calor también es mayor, por lo tanto sus baterías son de menores dimensiones y la cantidad de refrigerante necesaria también es menor.

Su principal inconveniente es que trabaja a presiones superiores a las del R407c, por lo tanto la instalación, tuberías y soldaduras han de ser apropiadas para soportar estas altas presiones. Por esta razón el refrigerante R410a no se puede utilizar en instalaciones grandes



### Comparación de los refrigerantes:

A continuación compararemos ambos refrigerantes en los aspectos clave para seleccionar el más beneficioso en nuestra aplicación.

#### Eficiencia:

Generalmente el R410A tiene un rendimiento isoentrópico mayor ya que su densidad de vapor es menor, por lo tanto su flujo volumétrico es menor reduciéndose así la pérdida de carga.

Por otro lado, al tener un mayor coeficiente de transferencia térmica, unas baterías más pequeñas son suficientes para realizar la misma transferencia de calor, por lo tanto, al haber menos tubos, hay menos rozamiento y la eficiencia aumenta.

#### Precio:

Los precios de ambos refrigerantes son muy similares. Como es lógico, estos varían en función del fabricante y el volumen adquirido, pero varían entorno a 11-12€/kg para el R410 y 12-13€/kg para el R407.

En los gases refrigerantes, gran parte de su precio se debe a los impuestos que se les aplican. En España el impuesto aplicable es de  $0.02\text{€} \cdot (\text{GWP}) \cdot \text{kg}$ . Debido a que el GWP del R407 es 1610 y el GWP del refrigerante R410a es de 1725. Al ser ambos GWP muy parecidos, el precio de los impuestos también lo es. En el apartado Impacto medioambiental: se describe que es el GWP

Al requerir el R410a unas baterías más pequeñas, el volumen necesario es menor y por tanto su precio global del refrigerante es ligeramente menor.

#### Mantenimiento:

En el caso del refrigerante R407c, al ser un refrigerante no azetrópico (deslizamiento de  $7,4\text{ °C}$ ), la recarga ha de hacerse en vacío ya que no se comporta como un fluido puro sino como una mezcla de fluidos. Esto supone muchos problemas a la hora de recargarlo ya que es muy importante que no se mezcle el gas con el aire a la hora de



vaciar o recargar, ya que el contacto del aire con los aceites que es necesario utilizar los degrada rápidamente.

Sin embargo, el R410a al ser prácticamente azetrópico (deslizamiento de 0.2 °C) puede recargarse sin vaciado previo del circuito. Esto supone una gran ventaja ya que resulta mucho mas fácil rápido y económico realizar las recargas de refrigerante. Por otro lado, al ser esta recarga más simple, es menos probable la entrada de humedad en el sistema, la cual es altamente dañina porque degrada los aceites.

Otro factor a tener en cuenta son las fugas de gas. A pesar de que se hacen muchos esfuerzos para intentar que el sistema sea completamente estanco, a lo largo del tiempo se acaban produciendo pequeñas fugas de refrigerante. En el R407 esto supone un gran problema, ya que al ser no azetrópico, los gases con presión de vapor menor se fugarán en mayor medida. Esto tiene dos repercusiones principales:

Por un lado, la proporción de gases dentro del sistema frigorífico varía, ya que la cantidad de el gas con menor presión de vapor se reducirá, reduciéndose así la eficiencia.

Por otro lado, como la proporción exacta de gases dentro del sistema es desconocida, será necesario vaciar completamente el circuito frigorífico y volverlo a recargar.

Sin embargo, al ser el R410a un refrigerante azetrópico, los gases se fugarán en igual proporción, por lo que para recargarlo simplemente habrá que añadir la cantidad fugada, operación mucho mas fácil y barata.

#### Tamaño de la instalación:

En el mercado de las deshumectadoras, existe una gran competitividad en cuanto al tamaño de las máquinas. Se busca que estas sean lo más compactas posibles para poder ser instaladas en el mayor número de localizaciones.

A este respecto, el R410a tiene unos compresores y unas baterías más compactas debido a su mayor transferencia de calor, que como consecuencia tiene un menor caudal volumétrico que reduce el tamaño de las baterías y el compresor.

#### Impacto medioambiental:

Como ya se ha comentado anteriormente, ambos gases tienen un ODP de 0, por tanto en este aspecto están igualados.

Otro factor a tener en cuenta es el GWP (Global Warming Potential). El GWP mide la capacidad que tiene una sustancia para producir efecto invernadero, el cual produce el calentamiento global. Uno de los pilares del protocolo de Kyoto es reducir el calentamiento global, y por tanto promueve unos altos impuestos a los agentes contaminantes como son los gases refrigerantes.

A este respecto, ambos refrigerantes están muy igualados ya que el GWP del R407 es 1610 y el GWP del refrigerante R410a es de 1725.

### Conclusiones:

Tras analizar todos los parámetros que conciernen a los gases refrigerantes, a continuación se realizará una matriz de decisión para concluir cual es el más eficiente.

En cada aspecto se ha valorado entre 1 y 0, dando un valor de 1 al mejor en ese aspecto. En situaciones de igualdad se ha valorado como 0 a ambos refrigerantes.

**Tabla 10-2 Comparación de los refrigerantes**

<b>Parámetro</b>	<b>R407C</b>	<b>R410A</b>
<b>Eficiencia</b>	0	1
<b>Mantenimiento</b>	0	1
<b>Dimensiones</b>	0	1
<b>Presión</b>	1	0
<b>Precio</b>	0	0
<b>Impacto medioambiental</b>	0	0
<b>sumatorio</b>	1	3

Claramente el refrigerante R410A es más apropiado que el refrigerante R407C ya que tiene un precio similar, es más eficiente y más barato de mantener porque es más fácil recargarlo.

Por esta razón, el mercado esta tendiendo a utilizar este refrigerante. De hecho, nuestro proveedor de bases compresoras, Area2, nos recomendó utilizar este refrigerante.

Es cierto que el R407C está muy extendido, sobretodo en Europa, ya que fue el primer sustituto al R22 y gran parte de las instalaciones actuales utilizan este refrigerante. Como estamos diseñando una máquina nueva, no tiene sentido utilizar un refrigerante con una tecnología mas antigua que es menos eficiente y contamina más. Por esta razón este será el refrigerante utilizado en nuestra deshumectadora.



Las empresas con las que competimos utilizan el refrigerante R407C, por tanto esperamos que este sea uno de los factores que nos permita sacara al mercado un producto más eficiente y menos contaminante que los que se comercializan actualmente, teniendo así una amplia cuota de mercado.

### *Selección de la evaporadora provisional*

Al ser las dimensiones del mueble y la potencia frigorífica necesaria conocidas, utilizaremos el programa de selección para calcular la batería de frío.

Normalmente esta será de tres filas y el ancho y el largo se ajustarán al máximo para aprovechar todo el área del mueble.

Decimos que vamos a seleccionar la batería evaporadora provisional ya que posteriormente esta se modificará para aprovechar al máximo el sistema térmico.

Los materiales utilizados en las baterías serán:

#### **-Tubos:**

Los tubos se fabrican en cobre debido a su alta conductividad térmica y resistencia a la corrosión.

#### **-Aletas:**

Serán fabricadas en una aleación de Aluminio y magnesio. Esto se debe a que es más barato que el cobre, tiene una eficiencia aceptable y el magnesio añade al aluminio resistencia a la corrosión.

Ya de por sí el Aluminio es bastante resistente a la corrosión, ya que crea una fina capa de óxido en su superficie que protege el resto del material. Por esta razón el aluminio es un buen material para trabajar en la mayoría de ambientes, pero al ser las deshumectadoras un ambiente de elevada humedad constante, es recomendable utilizar el aluminio magnesio para aumentar la vida útil de las baterías.

Como método extra de protección, las baterías se pintarán con pintura epoxi para asegurar que las baterías no se corroen.

#### **-Marco:**

Esta encargado de soportar todos los esfuerzos mecánicos de la deshumectadora, por lo cual está fabricado en acero para una alta resistencia a la fatiga y el estrés.

Con el objetivo de aumentar la resistencia a la corrosión y mantener un precio ajustado se utiliza acero galvanizado, evitando así su oxidación. No se utiliza acero inoxidable ya que esto elevaría el coste y el acero galvanizado es perfectamente válido para esta aplicación, lo cual ha sido demostrado utilizando este material en múltiples aplicaciones similares.

Utilizando el programa de selección de nuestro proveedor de intercambiadores de calor, DBM Coils, calcularemos la batería de frío. Para hacer una primera aproximación utilizaremos los siguientes datos:

Tcondensación: 45°C

Tevaporación: 5 °C

Sobrecalentamiento: 5 °C

Subenfriamiento: 5 °C

Potencia de frío: 13,615 kW

Introduciendo los datos en el programa obtenemos el tamaño de la batería, el precio y el margen. Estos parámetros nos serán útiles a la hora de definir las temperaturas del circuito frigorífico en la primera aproximación.

Tras calcular utilizando el programa de DBM obtenemos los siguientes datos

**Tabla 10-3 resultados de el primer cálculo de la batería evaporadora**

<b>Capacidad de deshumectación</b>	<b>Margen</b>	<b>Precio</b>	<b>Nº filas</b>
<b>8,8 kg/h</b>	23,39%	211€	3

Al ser el margen de 23,39%, podemos estimar que esta será la batería utilizada. Ahora el objetivo es sacarle el máximo rendimiento a la misma.

Para hacer el ciclo frigorífico tendremos en cuenta que es posible aumentar la temperatura de evaporación o el sobrecalentamiento, ya que la batería de frío tiene un margen bastante alto.



### Selección de la condensadora provisional.

Una vez conocidos los parámetros de evaporación, condensación, sobrecalentamiento y subenfriamiento, se debe calcular el tamaño de la batería de calor.

Es importante que la batería condensadora sea adecuada para que pueda disipar el calor requerido. Para ello se utiliza el diagrama de mollier:

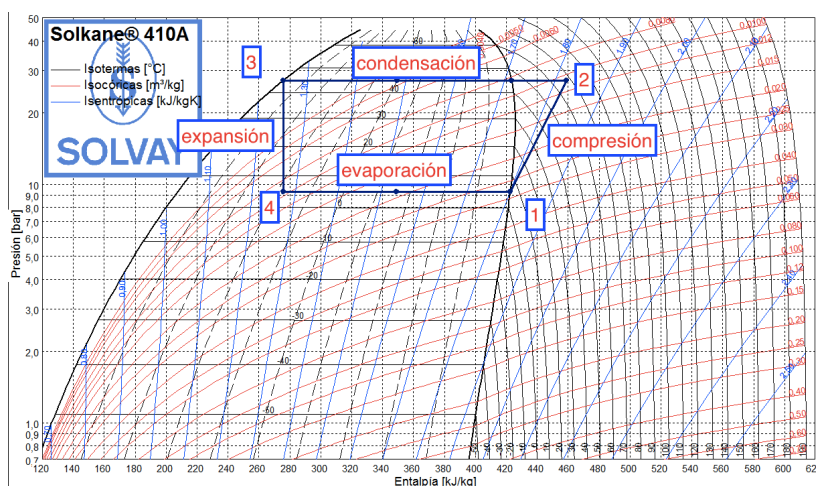


Figura 10-2

Como se observa en la Figura 10-2, el calor disipado en el condensador esta caracterizado por la diferencia de entalpías entre los puntos 2 y 3 multiplicados el gasto másico de refrigerante.

Para conocer las entalpías en los puntos 2 y 3 introducimos los parámetros del ciclo en el programa Solkane y obtenemos:

$$h_2 = 465.71 \text{ kJ/kW}$$

$$h_3 = 266 \text{ kJ/kW}$$

$$\text{Caudal másico} = 84,28 \text{ g/s}$$

Por tanto:

$$Q = \dot{m}(h_2 - h_3)$$

$$Q = 0.08428 \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) (465.71 \text{ kJ/kW} - 266 \text{ kJ/kW})$$

$$Q = 16.83 \text{ kW}$$

Para calcular la condensadora, introduciremos en el programa de DBM la potencia obtenida con el programa Solkane y las condiciones de humedad y temperatura de salida de la evaporadora. Dichas condiciones vienen dadas en la ficha técnica que facilita el programa de selección de baterías de DBM.

#### *Selección del compresor*

Para seleccionar el compresor utilizaremos el programa de selección que nos ha facilitado nuestro proveedor de bases de compresión Area2. Al igual que con las baterías, para hacer una primera aproximación, se utilizarán las siguientes condiciones:

Tcondensación: 45°C

Tevaporación: 5 °C

Sobrecalentamiento: 5 °C

Subenfriamiento: 5 °C

Potencia de frío: 13,615 kW

De donde obtenemos que los compresores que podrían ser los apropiados son los siguientes:

**Tabla 10-4 Compresores que valdrían para nuestra aplicación**

<b>Compresor</b>	<b>Potencia frigorífica (W)</b>
<b>C-SBP160H38B</b>	1329
<b>C-SBP170H38B</b>	14500
<b>C-SBP180H38B</b>	14570

Con estas condiciones el C-SBP160H38B no proporciona la potencia frigorífica necesaria, por lo tanto se utilizaría el inmediatamente superior; el C-SBP170H38B.



Temperaturas de condensación, evaporación, sobrecalentamiento y subenfriamiento y selección de las baterías de frío y calor definitivas.

Ahora que ya tenemos una idea de los parámetros de funcionamiento de los compresores y las baterías que mas o menos se adaptan a nuestras necesidades, procederemos a ajustar las temperaturas de condensación, evaporación, sobrecalentamiento y subenfriamiento del sistema frigorífico para sacar el máximo rendimiento a todos los componentes.

Para ello, se ha realizado la siguiente tabla la cual nos ayudará a seleccionar las temperaturas óptimas. El procedimiento que se ha seguido para hacer los cálculos es el siguiente:

1. Modificar las temperaturas para intentar aumentar el COP del sistema, introducir los nuevos parámetros de trabajo en el programa de Area2 para conocer la potencia de refrigeración obtenida con el compresor bajo esos parámetros.
2. Utilizando el programa Solkane calculamos la potencia calorífica que se emitirá en la condensadora. Este dato nos será útil para calcular la condensadora utilizando también el programa de DBM.
3. Haciendo uso del programa de DBM e introduciendo los parámetros de trabajo y obtenemos las baterías a utilizar.

**Tabla 10-5 Datos de partida en cada una de las iteraciones**

Nº	Tipo de Compresor	Q (kW)	COP	Consumo Eléctrico (kW)	T evaporación (°C)	T condensación (°C)	Sobrecalentamiento (°C)	Sub-enfriamiento (°C)
1	170	13.76	3.14	3.803	3	45	6	7
2	170	14.5	4.57	3.02	5	45	5	5
3	160	13.78	4.72	2.92	5	45	6	8
4	160	13.66	4.63	2.95	6.5	45	6	2
5	160	14.18	4.08	2.95	6.5	45	6	5
6	160	14.54	4.91	2.97	6.5	45	8	7
7	160	14.540	4.91	2.97	6.5	45	8	7

**Tabla 10-6 Resultado de cada una de las iteraciones**

Nº	Margen evaporadora	Des-humectación	Precio evaporadora	Potencia condensadora	Precio condensadora	marge condensadora
1	0.52	8.2	190	17000	255	-0.73
2	23.39	8.4	211	17872	295	6.45
3	22.18	8.4	223	16.985	291	1.59
4	11.12	8.5	223	17300	255	-1.36
5	11.12	8.6	223	17300	255	-1.36
6	11.49	8.8	223	17690	255	-0.91
7	11.49	8.8	223	17690	293	8.42

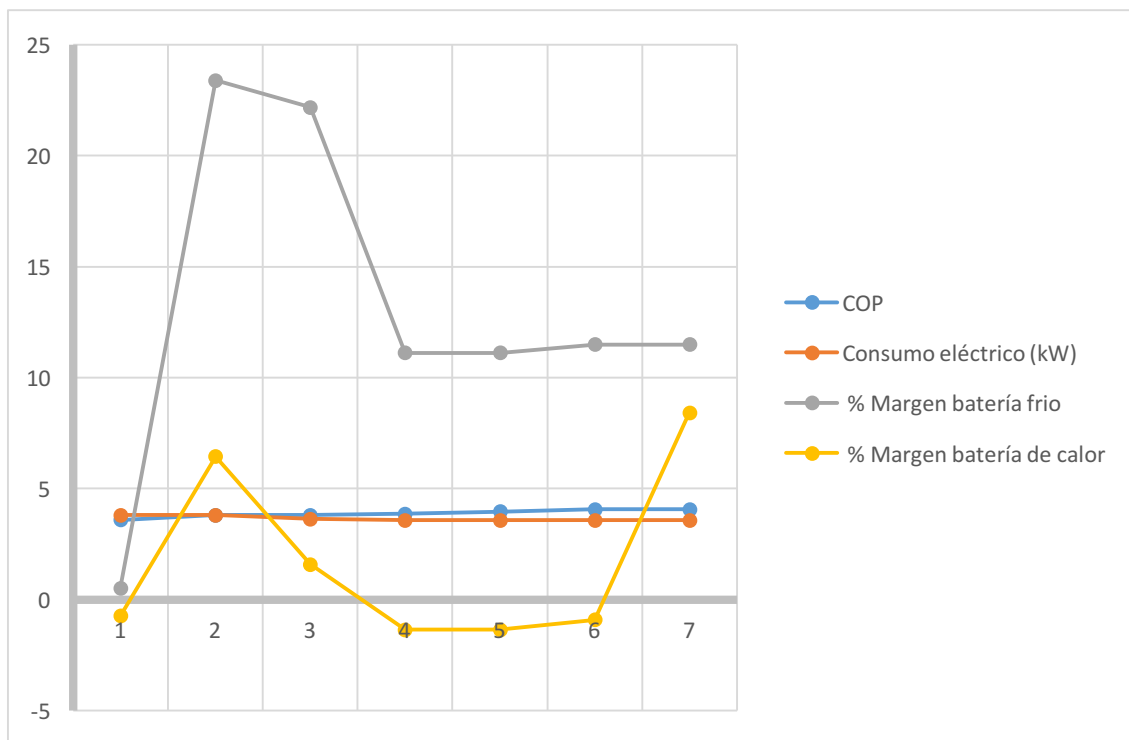


Figura 10-3 Gráfico ilustrativo de los resultados de las iteraciones

#### Descripción de las iteraciones:

1º iteración: Al ser el margen muy elevado, se intentó reducir la temperatura de evaporación a 3°C con el objetivo reducir la batería de frío a 2 filas, reduciendo así su precio. Como el consumo eléctrico es demasiado elevado, vamos a descartar esta opción y calcular las baterías utilizando 5° de evaporación.

2º iteración: La diferencia de precio no es muy elevada al utilizar 3 filas, así que esta será la batería que utilizemos. Al ser el margen muy grande, vamos a intentar utilizar un compresor más pequeño y por ende más barato subiendo las temperaturas de sobrecalentamiento y subenfriamiento.

3º iteración: El margen sigue siendo bastante elevado. Por lo tanto, para aumentar el COP, subiremos la temperatura de evaporación.

4º iteración: Hemos bajado 2 °C, pero este valor es demasiado bajo, de manera que para proteger la válvula de expansión, se subirá a 5°C.



5º iteración: Vamos a subir el sobrecalentamiento y el subenfriamiento para aumentar el COPP.

6º iteración: Ya tenemos un COP adecuado, pero el margen de la batería condensadora es negativo. Para solucionar este problema aumentaremos la batería una fila, obteniendo así un margen de seguridad aceptable.

7º iteración: Este ciclo frigorífico nos parece bastante adecuado, obteniendo un COP muy elevado, un precio ajustado debido al pequeño tamaño del compresor y unas baterías con un buen margen de seguridad.

Las fichas técnicas de las baterías intercambiadoras de calor y el compresor se adjuntan en el ANEXO1: Fichas técnicas.



## Batería de apoyo

Para calcular la batería de apoyo, sabemos que en nuestra hoja de especificaciones se pide un mínimo de 20 kW.

Normalmente, las calderas funcionan a 82°C, y para el cálculo de baterías de calor con agua se estima que esta pasa de 82°C a 65°C.

Para calcular la potencia y obtener un valor comparable a la competencia, supondremos que el aire entra en la batería a 17°C con un 80% de humedad relativa, ya que esto es lo que se considera en prácticamente todos los catálogos actuales.

Respecto a materiales, las aletas serán de aluminio magnesio y posteriormente se pintará con pintura epoxi para aumentar su resistencia a la corrosión.

En ocasiones, cuando la batería va a estar expuesta a temperaturas menores de 0°C se utiliza glicol como anticongelante, ya que en caso de congelación se rompería la batería por el aumento de volumen que sufre el agua al congelarse. Como es muy raro que este sistema quede expuesto a temperaturas inferiores a 0°C, y el agua que se utilizará vendrá directamente de la caldera en muchas ocasiones, se utilizará agua sin glicol.

Todos estos datos se introducen en el programa de selección de baterías de DBM y se obtiene la batería que se muestra en el ANEXO 1: Ficha técnica batería de apoyo.

### Sistema de expulsión de calor al exterior.

En algunas ocasiones, en verano las piscinas cubiertas tienen aportes térmicos por el sol los cuales superan las pérdidas. En estos casos, es necesario reducir la energía del aire de impulsión con el objetivo de compensar las aportaciones térmicas del exterior.

Para ello, se instala sistema alternativo a la batería condensadora con el cual disipar el calor a algún medio alternativo. Existen dos soluciones:

#### Instalar un aerotermo:

Esta es la solución más barata. Un aerotermo se constituye de una batería condensadora y un ventilador. El ventilador fuerza una corriente de aire a través de la batería condensadora para aumentar la transferencia de calor. El conjunto se instala en el exterior y de esta manera se disipa el calor fuera de la piscina. En la Figura 10-4 observamos el despiece de un aerotermo.



Figura 10-4 Aerotermo

#### Intercambiador de calor refrigerante-agua

Esta solución tiene un coste notablemente más elevado ya que, para evitar la corrosión, han de emplearse materiales como el titanio. Este intercambiador disipa el calor del circuito frigorífico en la piscina. Aunque la piscina tenga aportes de calor por el sol y el ambiente, según la legislación establecida en el RITE es necesario renovar un 5% del agua del vaso. Debido a que el agua de la red suele estar a unos 10-12°C, utilizar el calor del ciclo frigorífico para calentar la piscina es una manera de aprovechar ese calor



La Figura 10-5 muestra el funcionamiento del intercambiador refrigerante-agua. Como se puede observar, el tubo interior está retorcido para aumentar la transferencia de calor y así la eficiencia del intercambiador.

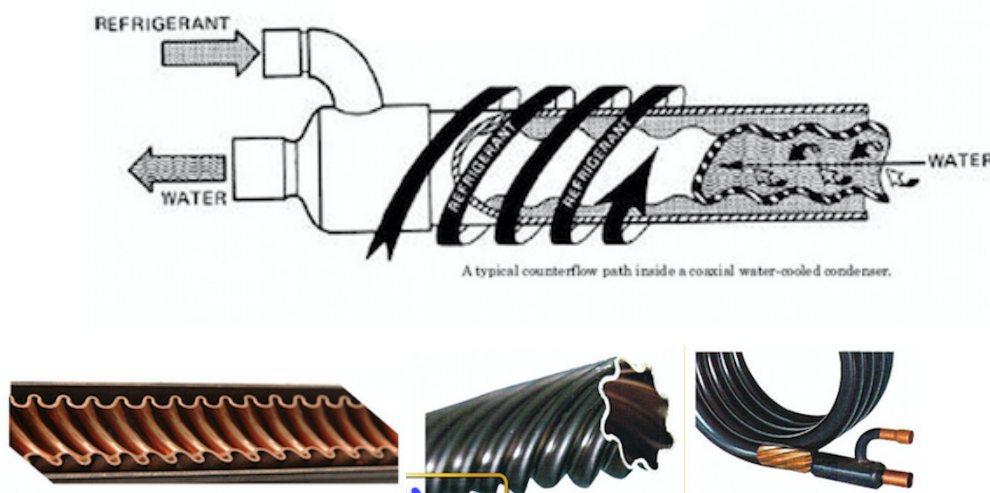


Figura 10-5 Intercambiador refrigerante-agua

Al no requerirse un sistema de expulsión de calor al exterior en nuestra hoja de especificaciones, no se instalará en la máquina. De todas maneras, como es posible que en otras situaciones se quiera instalar un aerotermo o un intercambiador refrigerante-agua, se dejarán las entradas del sistema abiertas para que sea posible instalar cualquiera de estas dos soluciones en caso de ser deseado por el cliente.



## 11. Diseño de la máquina

### 11.1 Introducción:

Una vez conocido el sistema frigorífico el siguiente paso es diseñar el resto de la máquina. El sistema frigorífico nos indica el ancho y el alto de la máquina. El objetivo en esta fase del proceso del diseño es cumplir las especificaciones solicitadas por la empresa minimizando el precio y maximizando accesibilidad y estética.

La velocidad de paso de aire por las baterías es un parámetro clave a la hora de diseñar una máquina de climatización, ya que determina el tamaño del mueble, por ello el sistema frigorífico se diseña en primer lugar. Esto se debe a que la velocidad de paso del aire a través de las baterías de frío está limitada en 2.7 m/s ya que a velocidades superiores existe riesgo de arrastre de gotas, lo cual puede dañar los ventiladores y otros elementos interiores.

Por ello, una vez que se conoce el caudal, y debido a que:

$$\text{Velocidad de paso} = \text{Caudal} / \text{Area}$$

Es posible conocer el área necesaria para que no ocurra arrastre de gotas.

Una vez conocido el tamaño de las baterías, el siguiente paso es seleccionar el recuperador de calor más adecuado. El recuperador elegido es un parámetro crítico a la hora de diseñar una máquina ya que cuanto mas eficiencia se quiera más grande será, por lo tanto, en caso de que sea mas grande que las baterías, nos indicará el alto mínimo de la máquina.

Una vez conocido el recuperador óptimo para nuestra aplicación se elegirán los filtros más apropiados para cumplir con las exigencias del RITE. Existe una gran variedad de filtros y será necesario seleccionar aquellos que cumplan mejor compromiso de precio, pérdida de carga y tamaño.



En cuarto lugar, una vez conocido el tamaño de todos los elementos internos de la máquina, haremos sumatorio de pérdidas y decidiremos la presión disponible que vamos a dejar al conducto. Esto nos servirá para poder calcular los ventiladores necesarios. No solo hay que tener en cuenta el caudal y las pérdidas de carga sino también seleccionar el más adecuado en cuanto a resistencia a la corrosión y precio.

Finalmente, una vez conocidos todos los elementos internos de la máquina, procederemos a diseñar la envolvente, buscando que satisfaga de manera óptima los siguientes criterios:

- Mínimo volumen posible, parámetro fundamental para una mayor versatilidad y un menor coste de materiales.
- Facilidad de fabricación, primordial a la hora de reducir los costes de fabricación y el tiempo necesario para producir la máquina.
- Accesibilidad, muy importante para poder realizar reparaciones fácilmente.
- Estética, importante tener una máquina proporcionada ya que en las ocasiones que la máquina esté a la vista, es mas fácil vender una máquina con buen aspecto estético.

Una vez conocidos todos los elementos y la envolvente, generaremos la primera ficha técnica provisional.

## 11.2 Recuperador de calor:

Como se ha expuesto en el marco regulador, siempre que el aire expulsado al exterior supere los  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , será necesaria la instalación de un recuperador de calor. La eficiencia mínima y la pérdida de carga máximas del recuperador de calor vienen dadas por la siguiente tabla:

Tabla 11-1: Exigencias del RITE en cuanto a eficiencia de la recuperación

Tabla 2.4.5.1 Eficiencia de la recuperación										
Horas anuales de funcionamiento	Caudal de aire exterior ( $\text{m}^3/\text{s}$ )									
	>0,5...1,5		>1,5...3,0		>3,0...6,0		>6,0...12		> 12	
	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa
$\leq 2.000$	40	100	44	120	47	140	55	160	60	180
> 2.000 ... 4.000	44	140	47	160	52	180	58	200	64	220
> 4.000 ... 6.000	47	160	50	180	55	200	64	220	70	240
> 6.000	50	180	55	200	60	220	70	240	75	260

El recuperador de calor es un elemento clave en las unidades de tratamiento de aire. Este elemento para alcanzar un alto nivel de eficiencia energética. Un recuperador es un intercambiador de calor que transfiere el calor del aire de expulsión al aire de impulsión, aprovechando de esta manera la energía del aire de retorno antes de expulsarlo a la calle.



Figura 11-1 esquema de el funcionamiento de u n recuperador de calor

Aunque los recuperadores son una buena solución, su eficiencia es limitada, suponen una alta pérdida de presión y tienen un elevado coste, lo cual no es deseable ya que supone un aumento de la potencia de los ventiladores aumentando paralelamente su consumo eléctrico.

Por esta razón es muy importante tener la opción de filtrar recircular el aire interior cuando este convenga más que el aire exterior. Aún así, es necesario cumplir en todo momento con el mínimo exigido por el RITE. Para ello, se situará una compuerta que permite al aire de expulsión mezclarse con el de impulsión.

Por otro lado hay ocasiones en las que el aire exterior sea más beneficiosos que el aire interior. En estas situaciones es necesario poder impulsar el aire sin pasar por el recuperador; esto se conoce como “Free Cooling”. Para ello se instala una compuerta en paralelo con el recuperador conocida como compuerta de “bypass”.

Existen dos tipos de recuperadores: Rotativos y de placas. Los recuperadores rotativos normalmente son más eficientes y tienen una pérdida de carga menor. Por esta razón en las instalaciones de gran tamaño se tienden a instalar este tipo de recuperadores.

Para instalaciones más pequeñas, como es nuestro caso, se suelen instalar recuperadores de placas. Estos son notablemente más baratos y tienen una buena relación precio-recuperación.



Figura 11-2 recuperador rotativo



Figura 11-3 recuperador de placas

Los recuperadores son especialmente útiles en invierno, por lo que para calcular su eficiencia normalmente se utilizan unos datos exteriores de 0°C, 90% Hr y utilizaremos unas condiciones interiores de 28°C al 65% de humedad, ya que estas son las condiciones objetivo dentro de la piscina. Con estos datos en mente, y teniendo en cuenta que la pérdida de carga no debe superar los 150 Pa y la eficiencia debe superar el 60% para que



este recuperador cumpla con la mayoría de los casos expuestos en la Tabla 11-1: Exigencias del RITE en cuanto a eficiencia de la recuperación.

También tendremos en cuenta que el recuperador debe estar protegido con pintura epoxi para evitar la corrosión.

Adicionalmente, instalaremos una compuerta de bypass para poder hacer free-cooling cuando el aire exterior sea más beneficioso que el aire interior.

Introducimos todos estos datos en el programa de selección de nuestro proveedor Recuperator, REX y obtenemos que el recuperador más adecuado es el que se muestra en el ANEXO 1: [Ficha técnica recuperador](#).

### 11.3 Filtros

Otro elemento crucial a la hora de diseñar una climatizadora son los filtros de aire.

Para conocer

**Tabla 11-2 Clases de Filtración**

Clases de filtración				
Calidad del aire exterior	Calidad del aire interior			
	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1	F9	F8	F7	F5
ODA 2	F7 + F9	F6 + F8	F5 + F7	F5 + F6
ODA 3	F7+GF (*)+F9	F7+GF+F9	F5 + F7	F5 + F6

Donde las calidades de aire exterior, de acuerdo con el RITE se corresponden a:

- ODA 1: aire puro que se ensucia sólo temporalmente (por ejemplo polen).
- ODA 2: aire con concentraciones altas de partículas y, o de gases contaminantes.
- ODA 3: aire con concentraciones muy altas de gases contaminantes (ODA 3G) y, o de partículas (ODA 3P).

Las calidades de aire interior se corresponden con las siguientes:



- IDA 1 (aire de óptima calidad): hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
- IDA 2 (aire de buena calidad): oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.
- IDA 3 (aire de calidad media): edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.
- IDA 4 (aire de calidad baja)

Por lo tanto, nuestra aplicación es ODA 2 IDA2. Diseñaremos para ODA 2 ya que la mayoría de las ciudades se consideran ODA 2 y por lo tanto nuestra máquina será más versátil.

Por lo tanto, de acuerdo con la Tabla 11-2 Clases de Filtración necesitaremos dos filtros: F6+F8.

Otras consideraciones importantes en relación con los filtros según el RITE son:

- Será necesario emplear prefiltros a la entrada del aire exterior a la unidad de tratamiento de aire y la entrada del retorno. Estos prefiltros se instalarán con el objetivo de mantener limpios todos los componentes de ventilación y tratamiento del aire, así como para alargar la vida útil de los filtros finales.
- Los filtros finales se instalarán después de la sección de tratamiento, procurando que la distribución del aire sobre los filtros sea lo más homogénea posible.



- Los aparatos de recuperación de calor deben estar siempre protegidos con una sección de filtros, cuya clase será la recomendada por el fabricante del recuperador; de no existir recomendación serán como mínimo de clase F6.

Una vez conocida la calidad de los filtros, es necesario seleccionar los filtros del tipo más adecuado que nos provean dicha calidad: F6 + F8.

Actualmente en el mercado existen múltiples tipos de filtros. Entre los cuales los más utilizados por LCI son los siguientes:

### *Filtro de superficie quebrada:*

Filtros especialmente diseñados para conseguir un mayor desarrollo del medio filtrante en una superficie frontal menor, aumentando el caudal de aire y reduciendo la pérdida de carga. Muy utilizado en instalaciones de climatización como filtro de media y alta eficacia (entre M5 y F9).

Marco y rejillas de material a seleccionar según aplicación (cartón de alta resistencia a la humedad, acero galvanizado o inoxidable).

Clasificados por laboratorio de acuerdo a la norma EN779 y otras complementarias.

Se utiliza normalmente esta configuración par filtros G4, ya que son muy baratos.

- Ventajas: Muy compactos, fáciles de intercambiar
- Desventajas: al tener muy poca superficie filtrante, es necesario cambiarlos con mayor frecuencia y tienen una mayor pérdida de carga.



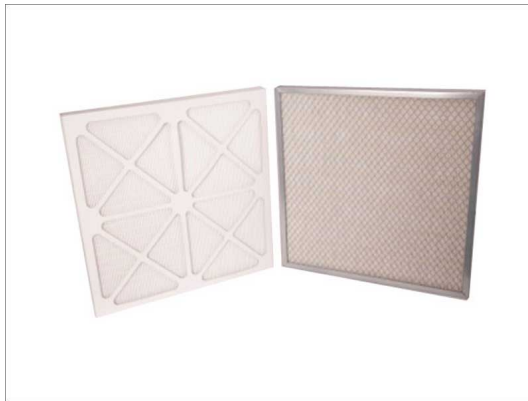
*Filtros de panel miniplegado de 50 o 100 mm:*

Filtro especialmente diseñado para su instalación en sistemas que utilizan filtros con marco plano, con filtrante de fibra de vidrio y fabricación tipo miniplegado. Muy utilizado en instalaciones de climatización como filtro de media y alta eficacia (entre M5 y F9).

Marco y rejillas de material a seleccionar según aplicación (cartón de alta resistencia a la humedad, acero galvanizado o inoxidable).

Estos son los filtros menos anchos, y por tanto los más utilizados en aplicaciones compactas.

- Ventajas: Al tener una superficie filtrante mayor, la pérdida de carga es menor manteniendo unas reducidas dimensiones.
- Desventajas: precio superior al de superficie quebrada.



### *Filtro de bolsas:*

Filtros de bolsas blandas o semirígidas para la entrada del aire exterior en sistemas de climatización o aplicaciones industriales. Especialmente diseñados para obtener una gran capacidad de acumulación y durabilidad.

Marco de acero galvanizado o plástico, dependiendo del modelo.

- Ventajas: al tener una superficie notablemente mayor, la pérdida de carga disminuye mucho y la vida útil aumenta.
- Desventajas: requieren una sección de filtros mucho mayor.



### *Filtros compactos:*

Filtros de media y alta eficacia especialmente diseñados para la entrada de aire en sistemas de climatización.

Construcción robusta con marco de plástico o metálico y filtrante de fibra de vidrio de última generación con sistema de fabricación tipo "miniplegado". Excelente relación caudal / pérdida de carga.

- Ventajas: más robustos y compactos que los filtros de bolsas.
- Desventajas: mayor precio y pérdida de carga.



### *Conclusiones:*

Tras analizar todas las opciones posibles, se ha decidido utilizar un prefiltro G4 de superficie quebrada y filtros de panel miniplegado F6 y F8 por su reducido tamaño, el cual es un factor muy importante en nuestra máquina y buena relación pérdida de carga-precio.

## 11.4 Conjunto motor ventilador:

Una vez conocida la pérdida de carga de todos los elementos internos de la máquina podemos proceder a calcular los ventiladores.

En primer lugar enunciaremos todos los tipos de ventiladores que hay par poder seleccionar el más adecuado.

Existen dos familias de ventiladores, los axiales y los centrífugos.



Figura 11-4 Ventilador axial



Figure 11-5 ventilador cetrífugo

Los ventiladores axiales se caracterizan por mover un gran caudal con un bajo consumo, pero soportan una pérdida de carga muy pequeña. Por otro lado, los ventiladores centrífugos soportan unas pérdidas de carga muy superiores, manteniéndose el caudal constante a pesar de aumentarse la pérdida de carga.

Por este motivo, en climatización casi siempre se utilizan ventiladores centrífugos. En nuestro caso, como tenemos tres intercambiadores de calor, un recuperador, filtros etc, la pérdida de carga será muy elevada, por lo tanto se utilizará un ventilador centrífugo.

Dentro de los ventiladores centrífugos existen varios tipos. A continuación se describen los diferentes tipos de ventiladores que existen para seleccionar el más adecuado para nuestra solución.

### *Ventiladores centrífugos polea correa*

Montan en su interior un ventilador de doble oído, que dependiendo de la presión que tenga que vencer será de palas hacia delante o palas hacia atrás. El ventilador va aislado del aparato por unos amortiguadores que en la mayoría de los casos son de caucho, pudiendo ser de muelle si el cliente así lo especifica, los cuales sirven para aislar

el exterior de las vibraciones que el ventilador pudiera emitir, la conexión entre la boca del ventilador y el aparato se hace por medio de una conexión flexible.

#### **Ventajas:**

- En la mayoría de los casos estos ventiladores son los más eficientes y los más baratos.

#### **Desventajas:**

- Poco compactos.
- Debido a que el motor y el ventilador están conectados con una correa, esta se desgasta, viéndose así su eficiencia reducida.
- Mantenimiento: la vida útil de las correas es limitada, y cada cierto tiempo es necesario cambiarlas. Para ello, un técnico ha de desplazarse hasta la instalación a realizar el cambio.
- Requieren de un variador si se quiere controlar la velocidad.



**Figura 11-6 Ventilador polea-correa**



### *Ventiladores Plug-Fan de rueda libre*

El bajo peso total dado por la aleación de aluminio permite menos carga en los cojinetes, menor capacidad de carga añadida sobre las estructuras afectadas por la instalación, que contribuye a una reducción de las vibraciones auto-inducido así como menores fuerzas inerciales. La aleación de aluminio utilizada, gracias a su excelente resistencia a la corrosión, garantiza la máxima flexibilidad para utilizar estas ruedas en cualquier entorno e industria.

**Ventajas:**

- Ventilador de reducido peso.
- Poco mantenimiento.
- Rendimiento constante a lo largo de su vida útil.

**Desventajas:**

- Más caros que los polea correa.
- Menos eficientes que los polea correa.
- Requieren de un variador si se quiere controlar la velocidad.



**Figura 11-7 Ventilador Plug Fan**

### *Ventiladores Plug Fan rueda libre con motores EC.*

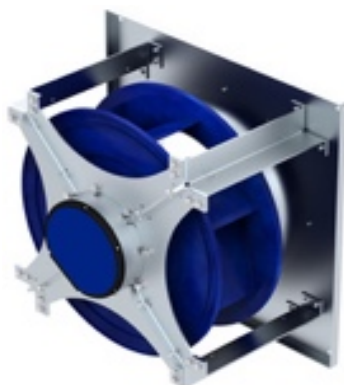
Las unidades de ventilación con ventilador centrífugo Plug Fan son altamente compactas. Concebidos para trabajar con grandes caudales y pérdidas de carga. EL ventilador es de palas de aluminio o un compuesto plástico. La estructura de chapa galvanizada y barras de soporte de acero. El perfil es de 30 milímetros. Se caracterizan por un bajo consumo y alta eficiencia energética gracias al motor EC incorporado. También destaca su reducido nivel sonoro debido a la tecnología de diseño y comportamiento aerodinámico.

#### **Ventajas:**

- No requieren un variador de frecuencia para controlar la velocidad gracias a su motor EC, el cual permite controlar la velocidad de giro con una señal 0-10V.
- Ventilador de reducido peso.
- Poco mantenimiento.
- Rendimiento constante a lo largo de su vida útil.
- Es el más compacto.

#### **Desventajas:**

- Al ser una tecnología muy nueva, todavía no están totalmente implementados en el mercado.
- Son los mas caro.
- Soportan poco caudal; solo hasta 10000 m<sup>3</sup>/h.



**Figura 11-8 Ventilador Plug Fan con motor EC.**



*Análisis de las distintas opciones como conjunto motor ventilador.*

Tras sopesar las distintas opciones disponibles como conjunto motor ventilador se ha decidido utilizar un motor EC rueda libre por las siguientes razones:

- Son los más compactos y en nuestra aplicación se ha buscado reducir al máximo el espacio, ya que es un parámetro fundamental en el diseño de la deshumectadora.
- A pesar de que son los más caros, no requieren variador. Para nuestra aplicación es fundamental controlar la velocidad de giro de los motores ya que cuando el filtro se ensucia la pérdida de carga aumenta. Por lo tanto el ahorro en el variador compensa el precio extra del ventilador.
- Son los más modernos, por lo tanto es más vistoso para ponerlos en la máquina que llevemos a la feria.
- Al ser una deshumectadora para una piscina pequeña, es conveniente que tenga el menor mantenimiento posible. Por esta razón, un ventilador Plug Fan con motor EC es ideal ya que su mantenimiento es mínimo.

### Selección del ventilador

Una vez decidido el tipo de ventilador a utilizar, seleccionaremos el más adecuado par nuestras necesidades de caudal y pérdida de carga.

Para conocer la pérdida de carga en el retorno y en la impulsión, sumaremos las pérdidas de carga de todos los elementos como muestra la tabla a continuación.

**Tabla 11-3 Pérdidas de carga**

Elemento	Perdida de carga impulsión	Perdida de carga retorno
Batería de frío	105	
Batería de calor	46	46
Batería de apoyo	40	
Filtro F6	53	53
Filtro F8	103	
recuperador	147	147
presión disponible	150	
Totales	644	246

Para ello, utilizaremos el programa de selección FanSelect, donde podemos elegir entre todos los ventiladores de nuestro proveedor ZIEHL-ABEGG.

A la hora de seleccionar el ventilador más adecuado es importante tener en cuenta que este ha de tener un margen bastante grande. Esto se debe a normalmente las piscinas cubiertas están muy mal aisladas, y requieren una temperatura de implosión muy alta. Como no es conveniente impulsar a una temperatura superior a 40 °C debido a que los usuarios suelen estar molestos con una temperatura de impulsión tan alta. A esto hay que sumar el hecho de que a altas temperaturas, la densidad del aire baja. Los ventiladores mueven caudal volumétrico, por lo tanto, si sube mucho la temperatura baja la velocidad y por lo tanto el caudal másico, lo cual no es deseable.

Uno de los parámetros más importantes a la hora de seleccionar un ventilador adecuado es su curva de trabajo. Este diagrama presenta en el eje de abscisas la pérdida de carga disponible y en el eje de ordenadas el caudal.



Durante la vida útil del ventilador, los filtros estarán cada vez más sucios, por lo tanto la pérdida de carga aumentará y es necesario que el ventilador tenga cierto margen para poder compensar dicho aumento de pérdida de carga.

Por otro lado en algunas ocasiones será necesario aumentar el caudal para compensar unos niveles de CO<sub>2</sub> demasiado altos o para aportar más calor al local, por tanto también es necesario tener margen de trabajo en el caudal.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones se han seleccionado los ventiladores de impulsión y retorno que se adjuntan en el ANEXO 1 Fichas técnicas. A continuación en las figuras Figura 11-9 Figura 11-10 se muestran las curvas de trabajo de los ventiladores de impulsión y retorno.

### Ventilador de impulsión:

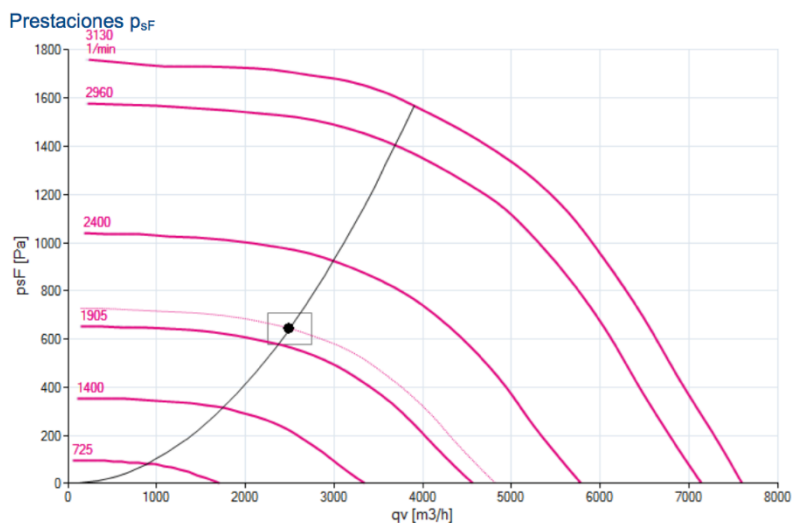


Figura 11-9 Curva de trabajo del ventilador de impulsión

### Ventilador de retorno:

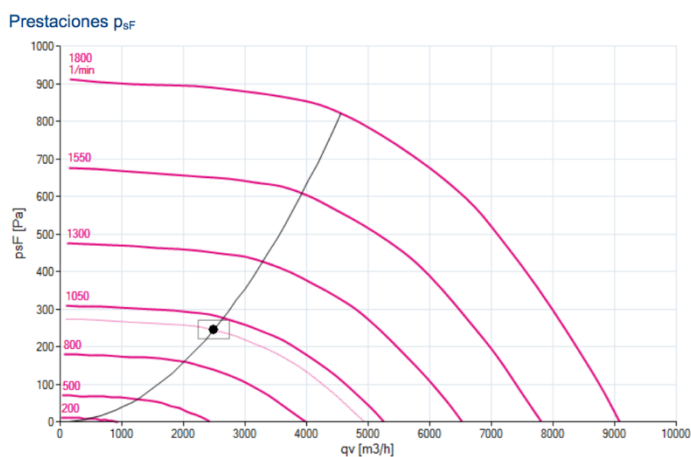


Figura 11-10 Curva de trabajo del ventilador de retorno

Como se puede apreciar, hay un margen bastante grande tanto en caudal como en pérdida de carga, por lo tanto es un ventilador bastante flexible, lo cual lo hace apropiado para nuestra aplicación.

### 11.5 Silenciadores:

Los silenciadores son elementos que se instalan con el objetivo de reducir el nivel de ruido. Tienen placas paralelas absorbentes de ondas sonoras y suelen reducir unos 45 dB. Pueden instalarse en la máquina o en el conducto. Debido a que estamos haciendo una máquina estándar, no lo consideraremos ya que si el cliente lo desea puede instalarlo en la boca del conducto.

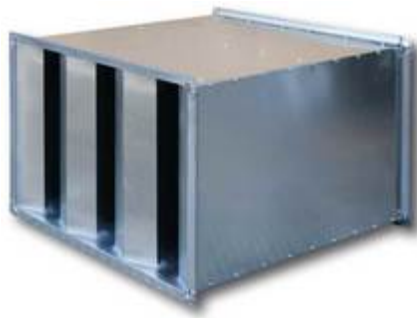


Figura 11-11 Silenciador.

## 11.6 Configuración de la máquina

Existen múltiples maneras de ordenar los elementos dentro de la máquina.

Para conocer la configuración óptima, hemos de tener en cuenta el modo de trabajo y fabricación de LCI así como nuestros criterios de mínimo espacio y mínimo número de elementos estructurales para reducir el precio.

Por ello, en esta sección se trabajará en estrecha colaboración con el jefe de la fábrica par conseguir la mejor solución par nuestra empresa, buscando un producto fácil de manufacturar con los recursos de los que disponemos en nuestras instalaciones. Esto no solo reducirá las horas de trabajo sino que también abaratará el coste del producto.

Para decidir la manera en la que vamos a colocar los elementos de la deshumectadora seguiremos los siguientes pasos:

- 1º: Investigar las soluciones que ha tomado la competencia
- 2º: propuesta de soluciones.
- 3º Análisis de las soluciones propuestas y decisión de la forma final.
- 4º: Diseño en CAD de la deshumectadora.
- 9º: Ficha técnica provisional.

### 11.6.1 Análisis de las soluciones existentes

Nuestros principales competidores son los siguientes:

- **Borealis:** Empresa especializada en unidades de tratamiento de aire para piscinas y bombas de calor. Son nuestra competencia más directa debido a su ajustado precio y su amplia experiencia en el campo de la climatización de piscinas. Contamos con que la gran experiencia de LCI en fabricación de unidades de tratamiento de aire nos permita conseguir un producto atractivo en el mercado.

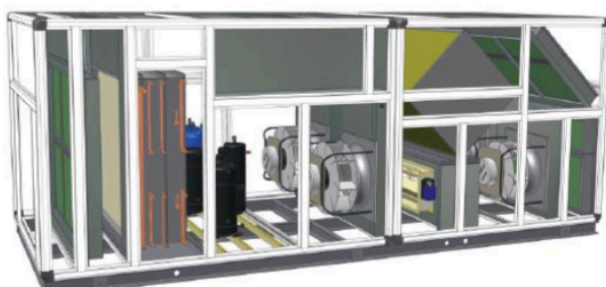




- **CIAT:** El grupo CIAT es una gran empresa HVAC. También producen deshumectadoras, aunque a un precio algo superior, por lo tanto, a pesar de su superior experiencia, consideramos que podemos ser más competitivos teniendo unas características parecidas y un precio más ajustado.
- **Sedical:** Se dedican exclusivamente a la distribución, y subcontratan la fabricación. Por este motivo consideramos que, al ser LCI fabricante y distribuidor, podamos competir con ellos.
- **Menerga:** Esta empresa alemana diseña y crea deshumectadoras de alta eficiencia. Son deshumectadoras de alta calidad, pero esto conlleva un precio muy elevado, por lo tanto el mercado objetivo de Menerga y LCI no es el mismo.

A continuación adjuntamos el diseño de cada una de las marcas de la competencia y analizaremos las ventajas y desventajas que tiene cada uno de ellos si LCI quisiera fabricarlos.

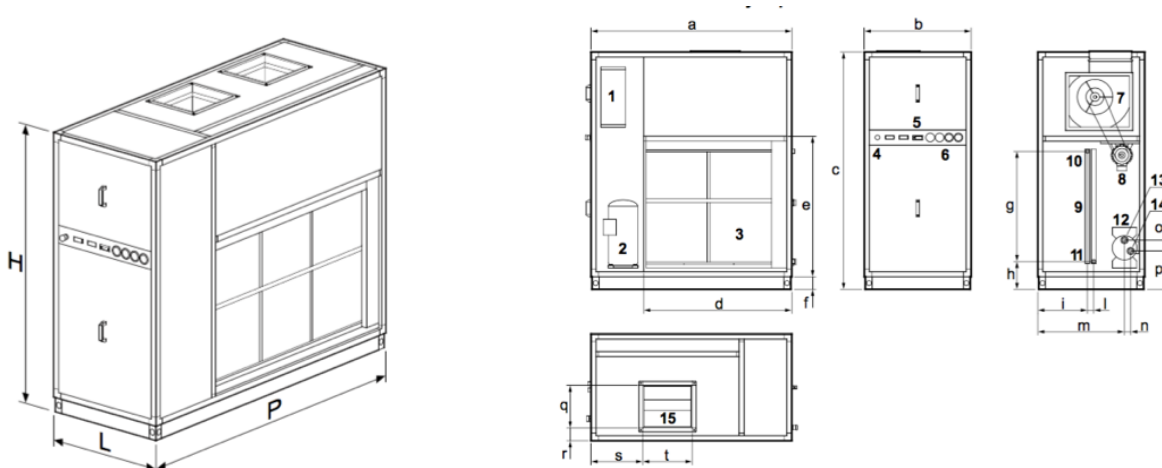
### **Borealis:**



La solución de Borealis es bastante compacta, probablemente a ello se deba su reducido precio. El hecho de que la sección del recuperador esta separada del resto de la deshumectadora es bastante conveniente ya que se ofertará la deshumectadora con o sin sección de recuperación, y en caso de que el cliente no quiera recuperación, simplemente habrá que cambiar esa sección quedando el resto igual. Esto también supone una ventaja a la hora de diseñar la misma, ya que no es necesario diseñar dos modelos, uno con caja de mezcla y otro con recuperador, sino que simplemente se instalará recuperador o caja de mezcla dependiendo de lo solicitado por el cliente.

Algunas de las mejoras que se nos ocurren para la máquina es utilizar paneles continuos en las caras laterales, ahorrando mucho tiempo de fabricación y coste de materiales. Probablemente Borealis no lo haga así debido a que su fábrica es mucho mas pequeña que la de LCI y hacer envolventes tan grandes sin las máquinas adecuadas es muy difícil. LCI fabrica máquinas de mas de 5 metros de alto por lo tanto es capaz de hacer envolventes mucho mas grandes sin necesidad de incluir estructuras divisorias de cada las caras de la envolvente.

### Sedical:



La máquina de Sedical es bastante compacta y tiene una configuración muy simple, lo cual es una gran ventaja a la hora de fabricarla. El ser tan compacta la hace apropiada para instalarse dentro del recinto de la piscina ocupando un espacio muy reducido.

El principal problema que presenta esta configuración es que solo permite deshumectar, pero no ventilar, por lo tanto es una solución poco útil ya que nuestro objetivo es una máquina versátil que deshumecte y además se encargue de la ventilación del local.

A pesar de que esta máquina solo permite deshumectar y no es válida para lograr nuestros objetivos, nos quedamos con la idea de impulsar hacia arriba, ya que hemos podido observar que esto reduce mucho el tamaño del mueble. Además, permite instalar ventiladores centrífugos polea correa sin necesidad de aumentar el tamaño ya que el motor está situado en el nivel inferior.

**Menerga:**

Menerga fabrica máquinas de alta eficiencia. Son muy buenos equipos, eficientes y bastante compactos. En las máquinas de Menerga el recuperador no es opcional, ya que la ausencia del mismo va en contra de la filosofía de la empresa. Es una solución muy buena ya que aprovecha mucho el espacio. Además, su recuperador de doble cuerpo le permite una mayor eficiencia.

El principal problema que presenta son las paredes interiores que tienen, las cuales son muy difíciles de fabricar. Por otro lado el recuperador de doble cuerpo es realmente costoso, y esa es la razón por la cual las máquinas Menerga son mucho más caras que la media. A todo esto hay que añadir el hecho de que si diseñamos una máquina parecida a la de Menerga, habrá que diseñar una configuración con recuperador y otra sin recuperador, ya que es fundamental que el recuperador sea un extra y no obligatorio. Por todos estos motivos, descartamos hacer una máquina similar ya que nuestro mercado objetivo no es el mismo que el de Menerga.

### 11.6.2 Valoración de soluciones

Tras consultar con el jefe de fábrica, las conclusiones a las que hemos llegado es que para LCI lo más fácil y por ende más barato es fabricar un mueble con una estructura exterior de forma de prisma tetragonal, ya que las aristas se fabrican con aluminio extruido y las paredes con paneles rectangulares del tamaño de cada cara. En estos paneles se hacen los agujeros para las puertas de acceso y las compuertas.

En la figura que se muestra a continuación se muestra una máquina de LCI, donde observamos como el exterior de cada módulo es de aluminio extruido y todos los componentes se adhieren a esta estructura de aluminio.

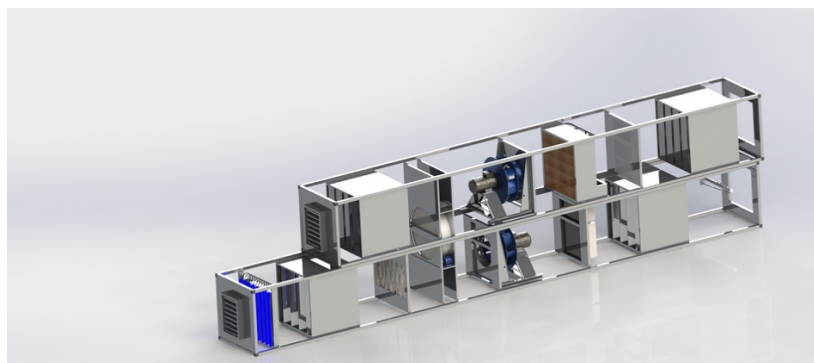
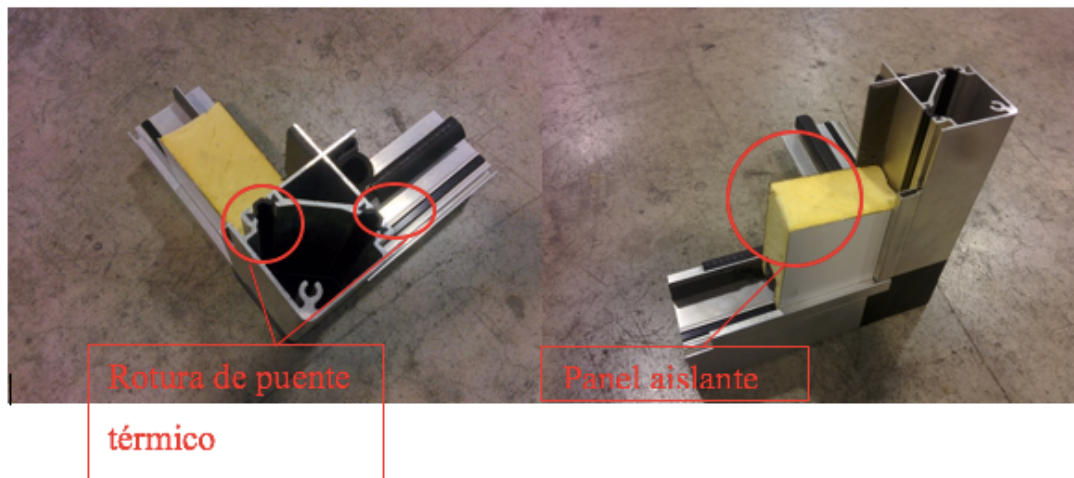


Figura 11-12 Diseño en CAD de una máquina fabricada por LCI



Figura 11-13 Ejemplo de una unidad de tratamiento de aire fabricada por LCI

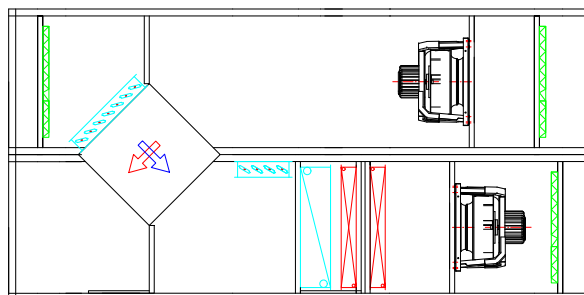
En la siguiente el perfil de la figura se observa la estructura de aluminio extruido



Cabe destacar de la estructura de aluminio la rotura de puente térmico y el panel aislante de 50mm. Estos dos elementos permiten minimizar la cantidad de calor perdido al ambiente, aumentando así la eficiencia del climatizador. Además evitan las pérdidas de presión al exterior.

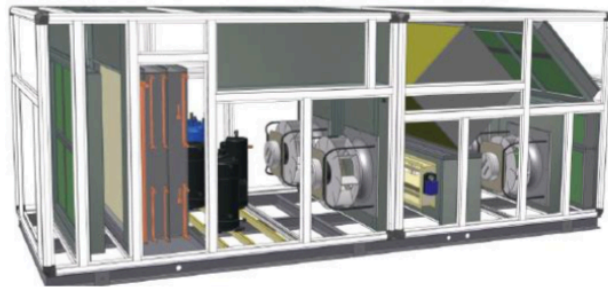
Otro factor a tener en cuenta es que la máquina ha de ser lo más compacta posible ya que esto no solo abaratará el coste de los materiales sino que hará un producto más fácil de vender ya que en muchas ocasiones estas máquinas van instaladas dentro de la piscina y el hecho de que sean muy compactas es conveniente.

Nuestra primera propuesta es hacer una máquina parecida a las máquinas de climatización que hace LCI normalmente cuando llevan recuperador. Suelen tener dos pisos uno para la impulsión y otro para el retorno.



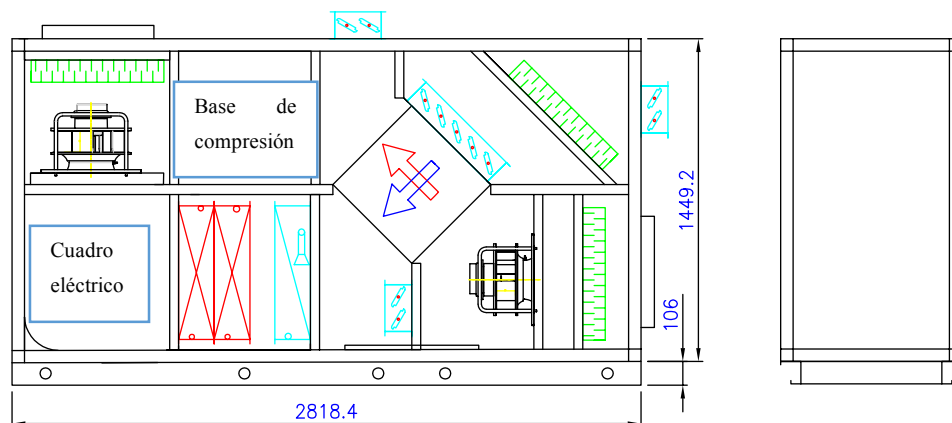
El problema de esta máquina es que en este caso el retorno está vacío, perdiendo así mucho espacio y haciendo la envolvente más grande de lo necesaria.

En segundo lugar se planteó hacer una máquina similar a la de Borealis, la cual es más compacta que la propuesta anteriormente.



En tercer lugar, dado que creemos que podemos mejorar el diseño de Borealis reorganizando los elementos interiores. Observando la máquina de Sedical, vemos que la opción de poner los ventiladores encima de las baterías hace la máquina más corta, y aprovecha el espacio encima de las baterías. Este espacio es necesario ya que nuestra máquina probablemente sea bastante alta debido a que el recuperador que hemos instalado es de alta eficiencia y baja pérdida de carga, lo cual lo hace muy grande, aumentando así la altura del mueble.

Con estos datos en mente se propuso la siguiente configuración:



Esta será la configuración final de la máquina ya que aprovecha muy bien el espacio. Como podemos observar no queda ningún hueco libre por lo tanto la máquina será lo más compacta posible.



### 11.6.3 Forma final + CAD

Tras sopesar las tres configuraciones propuestas, se ha decidido que la mejor para LCI es la propuesta en tercer lugar, ya que es la más compacta y aprovecha mejor el espacio, parámetro crucial a la hora de diseñar una máquina pequeña.

Para una mejor presentación al público y conocimiento en detalle de la máquina, también se representará en 3D la misma utilizando el software SolidWorks como se muestra a continuación:

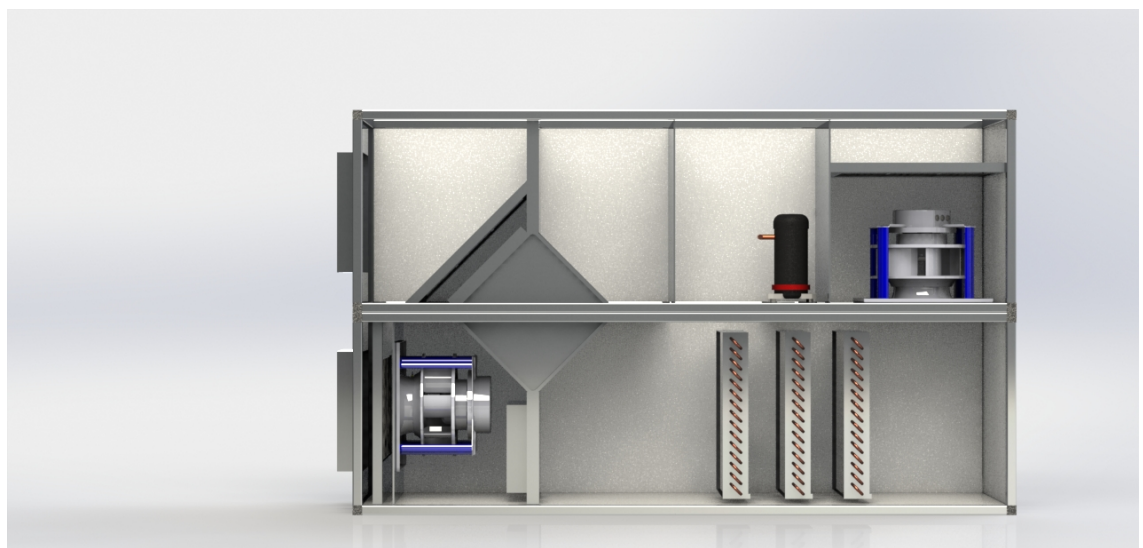


Figura 11-14 Diseño final de la máquina realizado con SolidWorks



### 11.7 Materiales: Resistencia a la corrosión

A la hora de seleccionar los materiales, es importante tener en cuenta que la deshumectadora trabaja en un ambiente húmedo, por lo tanto la corrosión será muy rápida si no se toman las precauciones adecuadas. Por ello se han tomado las siguientes precauciones.

#### *Ventiladores:*

Los ventiladores serán pintados con pintura epoxi y el oído, en lugar de aluminio será de un material plástico para evitar su corrosión.

#### *Intercambiadores de calor*

Las aletas de la batería son de aluminio magnesio y los tubos de cobre. A pesar de que ambos materiales son bastante resistentes a la corrosión, al estar en contacto existe riesgo de corrosión galvánica, por lo tanto se pintarán con pintura epoxi para asegurar no entren en contacto con agua y esta ejerza de medio electrolítico.

#### *Recuperador de placas*

Al igual que las baterías, el intercambiador de placas será pintado con pintura epoxi para evitar la corrosión.

#### *Paneles interiores*

Todos los paneles interiores serán de acero inoxidable para asegurar que no se corroen u oxidan por el agua y el cloro presente en el aire que circulará por la máquina.



## 12. Automatización de la máquina deshumectadora

## Introducción

Finalmente, una vez diseñada toda la máquina pasamos a la última fase, el control. Esta es una de las etapas más importantes ya que se encargará de que la máquina funcione adecuadamente en todos los ambientes posibles.

Para realizar el control, antes de proceder con la programación del PLC es necesario redactar una memoria de funcionamiento, decidiendo como funcionará la máquina ante distintas situaciones.

## Elementos de los que consta el control

A continuación se van a describir los distintos elementos de los cuales se compone el control. Por un lado está el PLC el cual se encarga de hacer la lógica, las tarjetas sirven para interactuar entre el PLC y la máquina ya que en ellas se encuentran las entradas y las salidas electrónicas, las cuales pueden ser analógicas o digitales. También son importantes las sondas, las cuales transforman parámetros físicos en señales eléctricas que pueden ser interpretadas por el PLC.

## PLC

Un PLC por sus siglas en inglés Programmable Logic Controller se trata de tipo un computador que se utiliza para la ingeniería de control y automatización industrial.

A diferencia de los ordenadores de uso general, los PLC están diseñados para gestionar entradas y salidas, y para funcionar en rangos de temperatura mayores y tienen inmunidad al ruido eléctrico impactos etc.

Normalmente, un PLC tiene un programa el cual se reproduce en bucle indefinidamente mientras esté encendido. Este programa gestiona las salidas en función de las entradas, ejecutando las órdenes e instrucciones con las cuales se le ha programado.

## Sensores y transductores

Es importante conocer la diferencia entre una sonda y un transductor. Una sonda esta en contacto físico con la magnitud física que se quiere conocer. Al interactuar con dicha magnitud física la sonda varía sus propiedades. Como ejemplo, podríamos mencionar una sonda de temperatura, la cual varía su resistencia eléctrica proporcionalmente a la temperatura. Existen tres tipos principales de sensores: Resistivos, capacitivos e inductivos, dependiendo del parámetro que varía en función de una magnitud física, es decir, si varía la resistencia es un sensor resistivo, si varía la capacitancia es un sensor capacitivo y si varía una corriente en función de un campo magnético es un sensor inductivo.

Por otro lado, los transductores se encargan de convertir una magnitud física en una señal o variable entendible e interpretable por el sistema de control.

Habitualmente los transductores incluyen un sensor. El sensor varía su resistencia, capacitancia o inductancia. El transductor se encarga de convertir esta variación de una magnitud física en una tensión o un voltaje normalizado. Esta relación esta especificada por el fabricante.

Por este motivo, para nuestro sistema de control utilizaremos transductores ya que nos proporcionan señales que nuestro PLC puede interpretar sin necesidad de elementos adicionales.

A continuación explicaremos cada uno de los transductores que se van a utilizar.

### *Transductores de temperatura*

Los utilizaremos para conocer la temperatura en distintos puntos. Las sondas de temperatura que vamos a utilizar son tipo PT, las cuales tienen un sensor de temperatura resistivo. El valor de esta resistencia es transformado en una señal 0-10 voltios en función de la temperatura.

### *Transductores de humedad (explicar mejor)*

Proporcionan una medida de la humedad relativa del aire. Normalmente estos transductores constan de un sensor capacitivo. El condensador que tiene el sensor utiliza como material dieléctrico el aire. La constante dieléctrica del aire varía según su humedad relativa. Al variar las propiedades dieléctricas del aire, la cantidad de energía almacenada en el condensador de manera proporcional a esta variación. El transductor está calibrado de manera que transforma esta variación de capacitancia del condensador en una señal 0-10V para una humedad relativa del 0% al 100%.

### *Transductores de CO<sub>2</sub>*

Es importante diferenciar entre sensores de calidad de aire y sensores de CO<sub>2</sub>. Los sensores de calidad de aire miden la cantidad de partículas dañinas para el ser humano presentes en el ambiente, mientras que un sensor de CO<sub>2</sub> mide la cantidad de esta molécula en el ambiente. Para nuestra aplicación, como tenemos que cumplir con la regulación española indicada en el RITE que establece que no debe haber más de 500ppm de CO<sub>2</sub>, debemos instalar un sensor de CO<sub>2</sub>.

Existen muchos tipos de sensores de CO<sub>2</sub> pero en nuestro caso, ya que el sensor debe soportar situaciones de altas temperaturas y humedad, será un sensor que funciona con un sistema infrarrojo. Un emisor creará una señal infrarroja. Por otro lado, un receptor de longitud de onda recibirá esta señal. Justo antes del receptor, se colocará un filtro que solo dejará pasar la longitud de onda afectada por el CO<sub>2</sub> de manera que así se medirá la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire.

### *Presostato*

Se utiliza para medir la pérdida de carga en los filtros. A diferencia de los transductores, el presostato solo da una señal 1/0 dependiendo de si el filtro está limpio o sucio. Para saber si el filtro está limpio o sucio, compara la presión antes y después de los filtros. Cuando la diferencia de presión supera la consigna establecida por el usuario, la señal varía de 0 a 1, advirtiendo así al sistema de que es necesario cambiar los filtros.

### *Transductor de presión*

Conocer el caudal exacto que producen los ventiladores resulta bastante complejo. Actualmente el método más utilizado es el de la diferencia de presiones. Para ello se utiliza un sensor de presión diferencial. Este sensor tiene dos placas fijas y una móvil. Según se aplique presión, la placa móvil se desplaza, variándose así su capacitancia. Midiendo esta variación de capacitancia se puede conocer la presión diferencial entre ambos lados de la placa.

Conociendo la diferencia de presión antes y después del ventilador se conoce el caudal de aire que está produciendo. Esto es muy útil ya que con este dato se regularán los ventiladores para que funcionen con un régimen de funcionamiento adecuado.

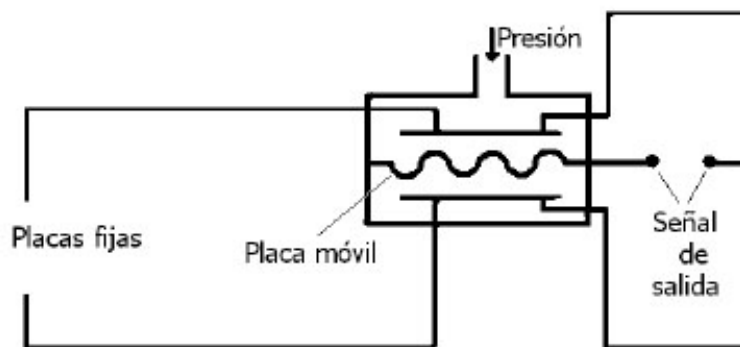


Figura 12-1 Sensor de presión con placa móvil.

### Parámetros a regular

El control se encargará de decidir el comportamiento de la deshumectadora en base a los siguientes 3 parámetros:

- **CO<sub>2</sub>**: este es el parámetro más importante, ya que han de mantenerse unos niveles aceptables de CO<sub>2</sub> por la salud y el confort de las personas. Por este motivo, el nivel de CO<sub>2</sub> será predominante en el control sobre el resto de parámetros.
- **Entalpía**: Normalmente se regula la temperatura en vez de la entalpía. La razón por la cual nosotros utilizaremos entalpía en vez de temperatura es que en nuestro caso, todas las sondas son de temperatura y humedad, por lo tanto podemos conocer la entalpía sin que suponga un sobre coste en sondas.

La principal ventaja de trabajar con entalpías en vez de con temperaturas es que es un factor de mucha más fiabilidad. Esto se debe a que a la hora de decidir si el aire interior es más o menos favorable para compensar las cargas térmicas.

En el siguiente ejemplo se muestra como la temperatura en el punto 2 es inferior a la temperatura en el punto 1, ambos puntos mostrados en la Figura 12-2 Dos puntos del psicrométrico con distintas temperaturas secas. Sin embargo, si esto se diera en verano y se quisiera combatir las cargas térmicas de la piscina como por ejemplo el calor aportado por el sol, sería más apropiado utilizar el máximo aire recirculado posible ya que, aunque su temperatura sea menor, su entalpía es mayor, por lo tanto aportaría energía a la piscina.



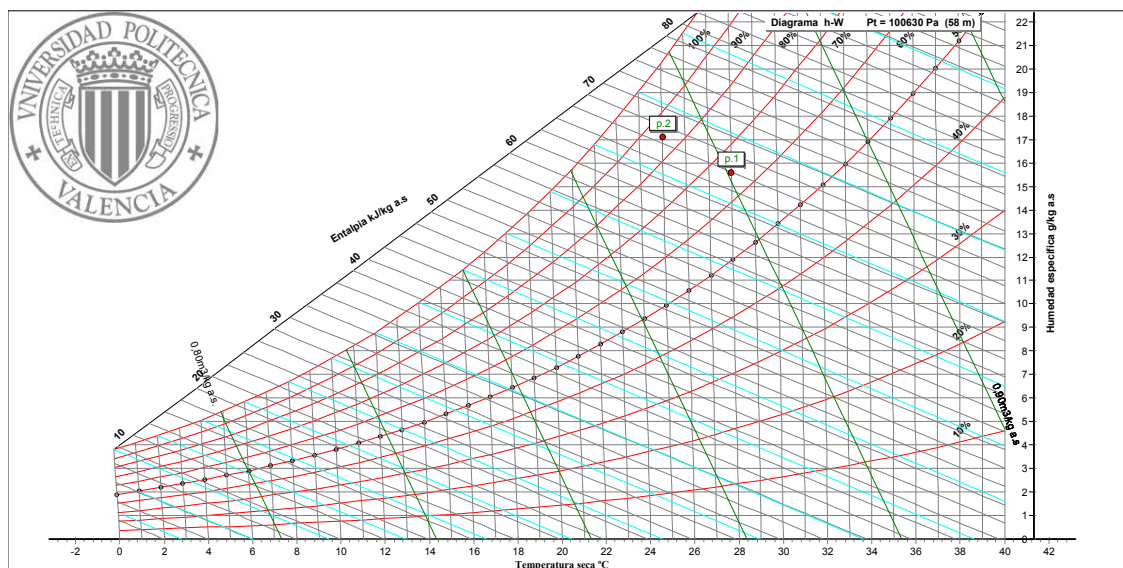


Figura 12-2 Dos puntos del psicrométrico con distintas temperaturas secas

Tabla 12-1 Detalle de las propiedades de los dos puntos mostrados en la figura 10-2

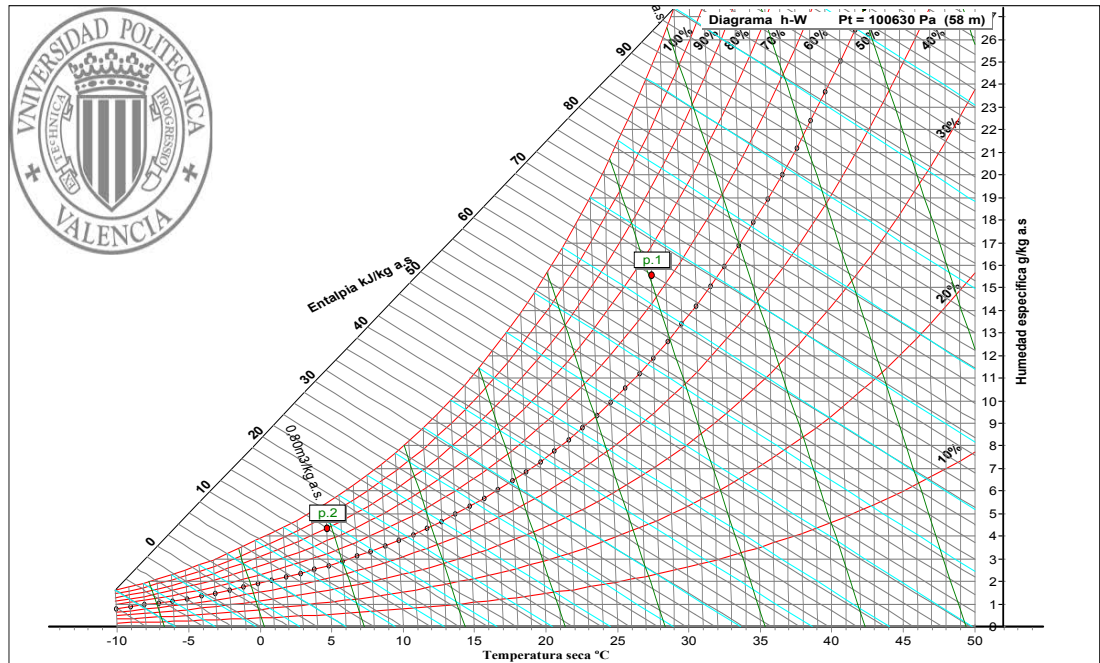
Punto	Ts(°C)	Hr (%)	W(g/kgas)	Th(°C)	Tr(°C)	h(kJ/kgas)	Pv(Pa)	Den(kgas/m3)	ve(m3/kgas)
1	28	65	15,58	22,88	20,81	67,93	2458	1,1359	0,8804
2	25	85	17,11	23,06	22,3	68,73	2694	1,1445	0,8737

Como podemos observar en el psicrométrico, si quisiéramos reducir la temperatura utilizando aire del exterior obtendríamos el efecto opuesto al deseado. Aumentaríamos la cantidad de energía del local y aumentaríamos la humedad, ya que la humedad absoluta del exterior es mayor a la humedad absoluta interior. Por esta razón, para regular la temperatura se utilizará el aire (interior o exterior) que tenga la entalpía más deseable

- **Humedad absoluta:** Al igual que con la entalpía, trabajaremos con humedad absoluta ya que nuestras sondas son de temperatura y humedad, por lo tanto el sistema de control puede calcular la humedad absoluta.

De forma similar a la entalpía, la humedad absoluta es más fiable que la relativa ya que la humedad relativa puede conducir a error. Esto se debe a que al aumentar la temperatura del aire se reduce su densidad, por tanto la cantidad de agua que cabe en una unidad de volumen de aire aumenta, reduciéndose así la humedad relativa. Esto puede llevar a error a la hora de decidir si el aire interior o el aire exterior son mas beneficiosos para deshumectar.

Un ejemplo típico de este fenómeno se da en invierno. Como podemos observar en la Figura 12-3 Dos punto del psicrométrico con distintas humedades absolutas y detalle de sus propiedades termodinámicas, el aire exterior (Punto 2) tiene una humedad relativa mucho mayor, sin embargo para deshumectar el aire exterior es mucho más conveniente ya que su humedad absoluta es mucho menor, por lo tanto podemos deshumectar con el aire exterior.



Presión total = 100630 Pa equivalente a 1006 mbar correspondientes a una altitud de 58 m

Punto	Ts(°C)	Hr (%)	W(g/kgas)	Th(°C)	Tr(°C)	h(kJ/kgas)	Pv(Pa)	Den(kgas/m3)	ve(m3/kgas)	Caudal(m3/h)
1	28	65	15,58	22,88	20,81	67,93	2458	1,1359	0,8804	
2	5	80	4,34	3,59	1,84	15,94	698	1,2518	0,7988	

Figura 12-3 Dos punto del psicrométrico con distintas humedades absolutas y detalle de sus propiedades termodinámicas

## Listado de señales

El siguiente paso es conocer las entradas y salidas que necesitamos para seleccionar el PLC más adecuado. Para enumeraremos sobre el los planos de la máquina todas las sondas que vamos a utilizar y con esa información calcularemos la cantidad de entradas y salidas analógicas y digitales necesarias.

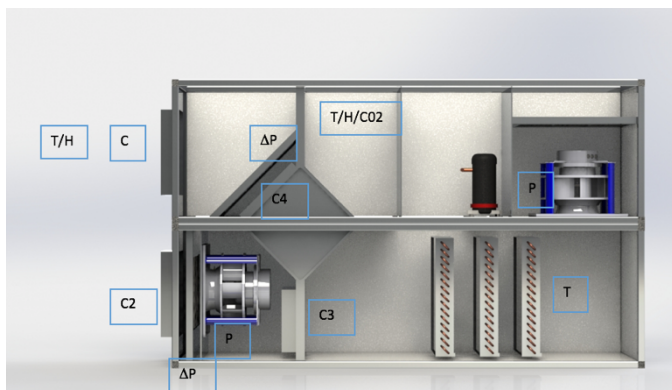


Figura 12-4

Tabla 12-2 Listado de señales de entrada

	Listado de señales				
	EA	ED	SA	SD	COM
Variador ventilador impulsión		2	1	1	
variador ventilador retorno		2	1	1	
Presión impulsión	1				
Presión retorno	1				
T/H/CO2 retorno	3				
T/H Ext	2				
T impulsión	1				
Abrir/cerrar compuerta exterior				1	
Regulación compuerta bypass			1		
Regulación compuerta recirculación			1		
Presostato filtros		2			
Regulación batería de apoyo			1		
Circuito frigorífico		5		2	
TOTAL	8	11	5	5	0

Una vez conocidas las sondas que se van a utilizar, utilizando una hoja de calculo conoceremos el número de entradas y salidas que ha de tener nuestro PLC:

Donde:

- EA= Entrada analógica.
- ED= Entrada digital.
- SA= Salida analógica.
- SD= Salida digital.
- COM=Comunicación Modbus

Una vez conocidas todas las entradas y salidas necesarias podemos proceder a seleccionar el PLC y las tarjetas necesarias:

**Tabla 12-3 Listado de entradas en cada módulo**

	Listado de señales				
	EA	ED	SA	SD	COM
PLC PM 546 ETH	0	8	0	6	0
AX561	4	0	2	0	0
AX561	4	0	2	0	0
AX561	1	3	2	0	0
TOTAL	9	11	6	6	0
Sobrantes	1	0	1	1	0

Por lo tanto, para cubrir todas las necesidades de la máquina utilizaremos un PLC PM 546 ETH el cual tiene 8 entradas digitales y 6 salidas digitales. Será necesario complementar este PLC con tres tarjetas AX561 las cuales tienen 4 entradas analógicas/digitales y dos salidas analógicas. Como se puede observar, sobra una salida analógica y una salida digital. Estas servirán en caso de que se requiera la instalación de un aerotermo o un intercambiador refrigerante agua, la salida digital lo encenderá y la analógica lo regulará.



## Memoria de funcionamiento

### Introducción a la memoria de funcionamiento

El objetivo del presente documento es describir el funcionamiento de la deshumectadora y la regulación de los parámetros que rigen su funcionamiento.

La función principal de los equipos acondicionadores de aire es mantener, dentro de un espacio determinado, condiciones de confort. Para ello, se debe instalar un equipo acondicionador de capacidad adecuada con control activo que funcione el tiempo que requiera la instalación.

Para la climatización y acondicionamiento de la piscina normalmente se utiliza un climatizador con un sistema frigorífico incorporado, comúnmente conocido como deshumectadora.

Las deshumectadoras se utilizan en múltiples aplicaciones. Desde hogares para evitar el crecimiento de moho, como en zonas de uso lúdico para controlar los niveles de humedad y temperaturas. En climas cálidos y húmedos es esencial deshumectar un porcentaje de volumen de aire. Aunque sistemas convencionales de aire acondicionado suministran deshumectación debido al enfriamiento sensible, hay zonas donde los niveles de humedad son tan excesivos que esta no es una opción.

Las piscinas necesitan renovar y deshumidificar constantemente el aire del local en el que se encuentran, debido a los aportes de calor sensible y latente, a la evaporación, así como el CO<sub>2</sub> producido por la respiración de los usuarios.

## Funcionamiento

### Arranque

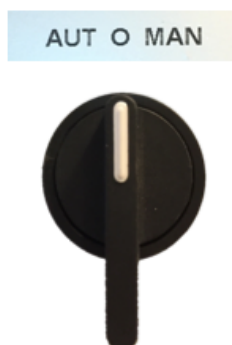
Para la puesta en marcha de la UTA, se dispone en la pantalla táctil de una variable que nos permitirá seleccionar uno de los 3 modos de arranque disponibles:

**Modo 1:** Mediante sistema BMS.

**Modo 2:** Mediante la programación de un horario de trabajo, a través de la pantalla táctil que incorpora la UTA en el cuadro de control.

**Modo 3:** Mediante la activación del selector M-0-A incorporado en el cuadro o control.

Posición manual	La uta se pondrá en funcionamiento
Posición 0	La uta permanecerá parada
Posición automático	La uta se pondrá en funcionamiento al cerrar un contacto libre de tensión existente en el bornadero de control.



**Figura 12-5 Encendido de la máquina**

Cuando la UTA recibe la orden de marcha, pone en funcionamiento los ventiladores de impulsión y retorno. El estado de marcha de los ventiladores da permiso de funcionamiento a la regulación.

### Regulación de temperatura

La regulación de temperatura de la UTA, se realiza por temperatura de impulsión. La consigna es calculada mediante una curva de compensación por temperatura exterior, las variables que definen la curva, son configurables por el usuario a través de la pantalla táctil. Una vez establecida dicha consigna, el sistema intentará conseguir llegar a ella utilizando el sistema de compuertas, en función de la comparación de las entalpías del aire exterior y retorno. A continuación se comenzará a regular la batería de apoyo 0-10 V DC.

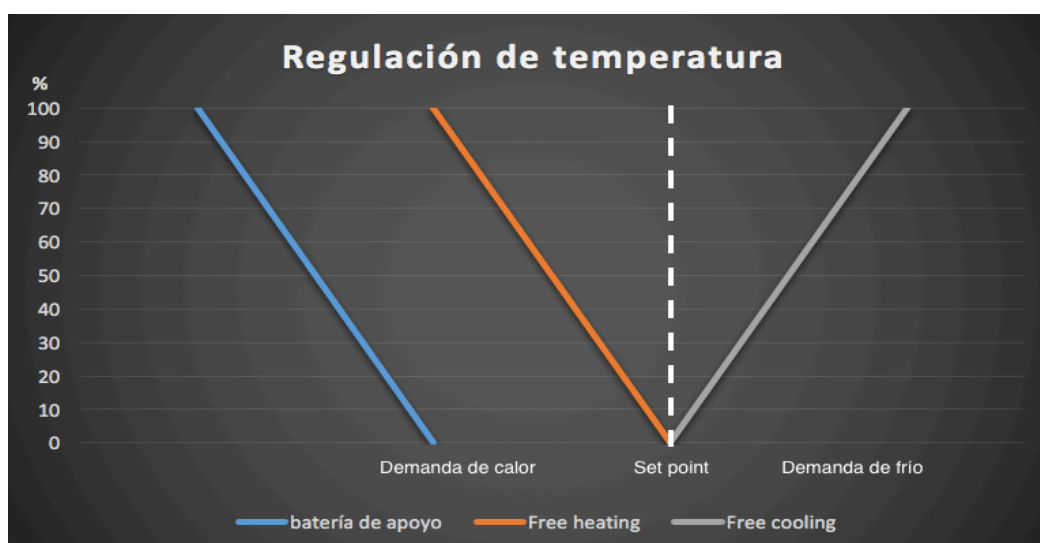


Figura 12-6 Grafico descriptivo de la regulación de la temperatura



### Regulación de humedad

La regulación de humedad, se realiza partiendo de una consigna de humedad en retorno, a partir de la cual, el sistema de control calculará la consigna de humedad de impulsión, limitando esta entre unos valores máximos y mínimos.

Todas las variables referentes a la regulación de humedad, son configurables por el usuario a través de la pantalla táctil.

Para el control de la humedad, en caso de que esta sea cercana a la humedad de consigna, se utilizará el sistema de compuertas. Si la humedad es excesiva para ser compensada utilizando las compuertas, se encenderá el compresor, el cual tiene una histeresis para evitar un encendido y apagado excesivo.

Adicionalmente, el sistema incorpora unas señales de marcha/paro, alarma y regulación que podrán ser conectadas a un humidificador externo en caso de ser necesario.

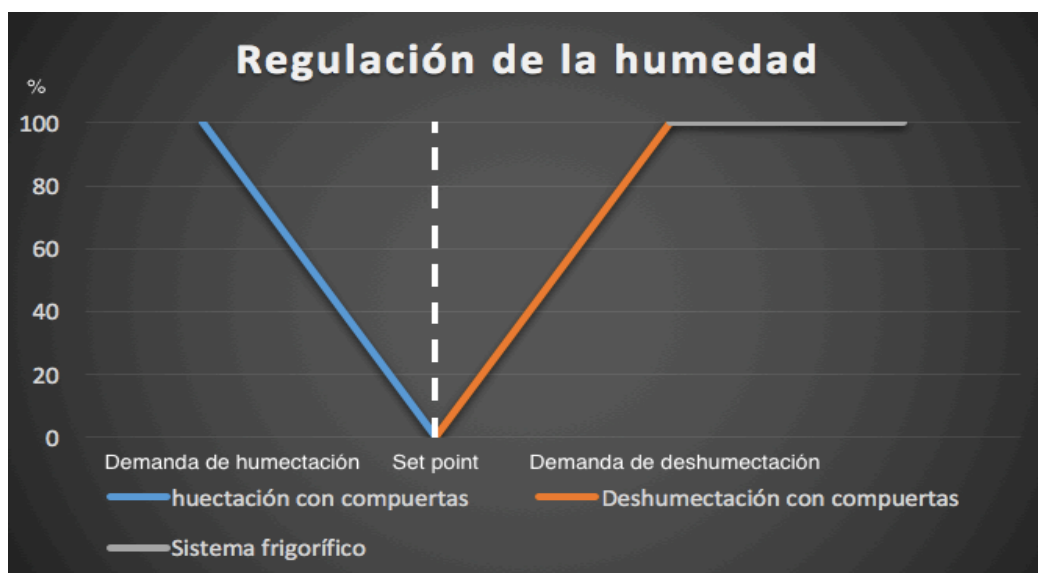


Figura 12-7 Grafico descriptivo de la regulación de la humedad



### *Regulación de caudal*

Para conocer el caudal la UTA dispone de un transductor de presión en cada ventilador, el cual mide de forma continua la presión diferencial existente entre la cámara de aspiración y el oído del ventilador. Con esta presión y la constante del ventilador, el sistema de control calcula el caudal instantáneo que está suministrando la UTA. La regulación de caudal se realizará mediante el control de la velocidad de giro de los motores de los ventiladores.

El sistema de control regulará mediante una señal analógica 0-10V DC la velocidad del ventilador para mantener el caudal constante en el punto de consigna fijado por el usuario.



### *Regulación de calidad de aire*

Para el control de la calidad de aire, el sistema incorpora una sonda de CO<sub>2</sub> en la sección de retorno.

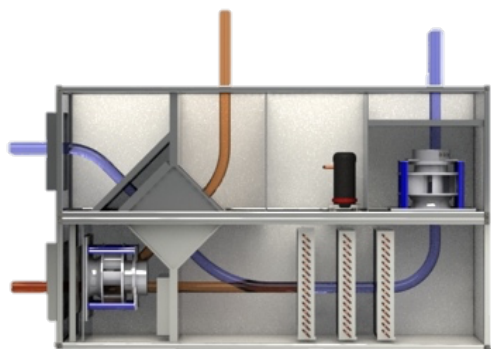
Partiendo de una consigna de CO<sub>2</sub>, el sistema gestionará las compuertas para garantizar un mayor aporte de aire exterior cuando la lectura en la sonda exceda el valor de consigna.

La regulación de la calidad del aire, tendrá prioridad sobre la regulación de temperatura y humedad, ajustando las compuertas, aunque perjudique a otras variables.

## Modos de trabajo

En función de las condiciones del ambiente y de la piscina, habrá varios modos de trabajo distintos. Esto se ajustará con las compuertas de regulación.

### Deshumectación con circuito frigorífico y aire exterior.

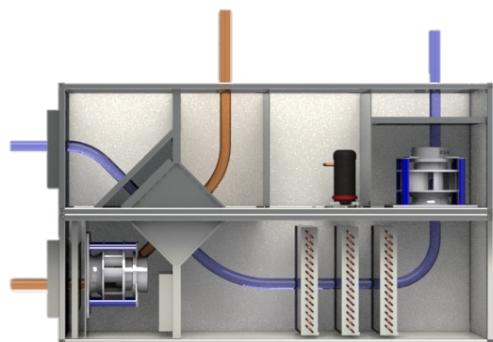


En los casos donde el aire exterior tenga una humedad absoluta inferior a la humedad interior, se utilizará el aire exterior para deshumectar complementando al sistema frigorífico.

Se utilizará la compuerta de bypass en caso de que la entalpía no sea favorable.

El aire de recirculación se mezcla con el exterior y pasa por el circuito frigorífico para deshumectarse. Posteriormente, si es necesario, se pos calienta el aire en la batería de agua y se impulsa al local.

### Deshumectación con 100% aire exterior.

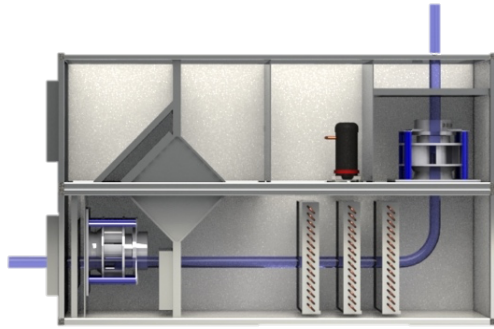


Si las condiciones exteriores son adecuadas, la compuerta de recirculación se cerrará proporcionalmente y se aprovechará el aire exterior.

El recuperador es de gran utilidad en este caso, permitiendo acondicionar el aire exterior a las condiciones óptimas de impulsión sin necesidad de utilizar el sistema frigorífico, ahorrando energéticamente.

Free-cooling es una opción, gracias a la compuerta de bypass.

### Deshumectación en recirculación.



Para habilitar la piscina se podría deshumectar con aire recirculado hasta su puesta en marcha. Este modo será de utilidad cuando la entalpía exterior no sea favorable.

En este modo de funcionamiento, el aire interior se deshumecta en la evaporadora hasta adquirir unas condiciones óptimas para su impulsión. En caso de necesitar una temperatura de impulsión mayor, se recurrirá a la batería de agua.

### Pantalla táctil

Para la gestión y supervisión de la UTA, el sistema incorpora una pantalla táctil de 7" , mediante la cual el usuario podrá visualizar en tiempo real las variables monitorizadas y modificar las diferentes consignas disponibles, así como el horario de funcionamiento.

A continuación se muestran las diferentes pantallas gráficas existentes, así como una breve descripción de las funciones disponibles en cada una de ellas.

#### *Pantalla principal*

Esta es la pantalla principal, en ella podremos visualizar las siguientes variables:

- Lectura de todas las variables de temperatura, humedad, caudal y calidad de aire disponibles
- Estado de funcionamiento o avería de los ventiladores
- Regulación de cada una de las compuertas existentes
- Señales de alarma y regulación del humectador
- Alarmas de filtro sucio
- Botones de acceso al resto de menús disponibles

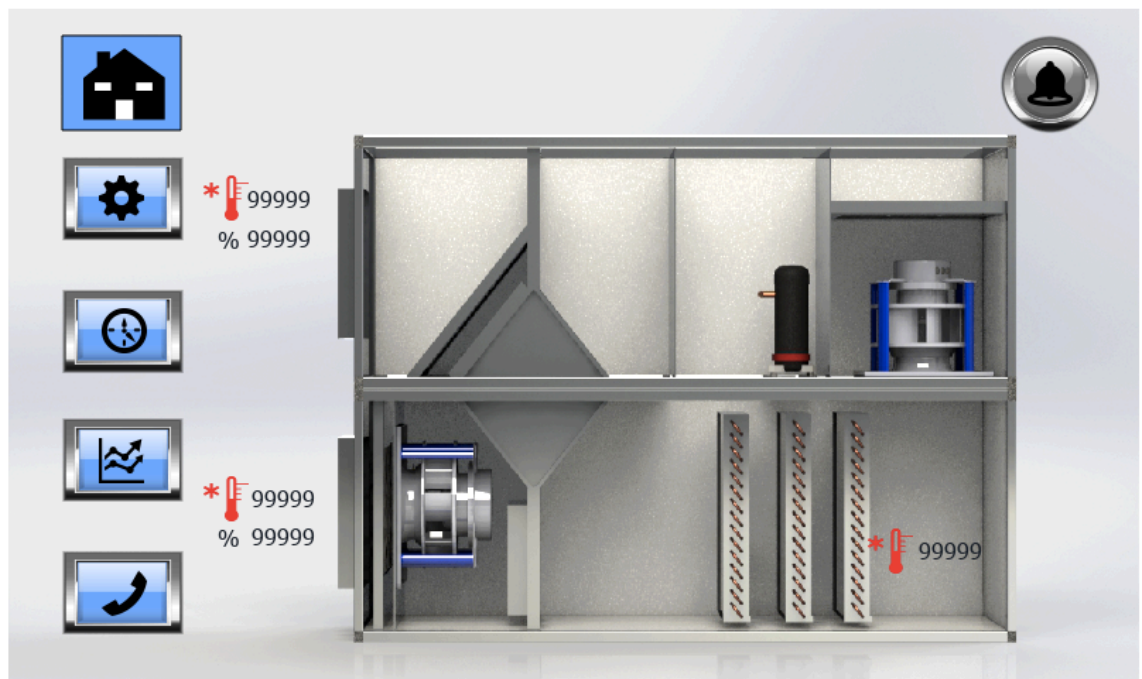


Figura 12-8 Menú principal

### Pantalla ajustes




Pulsando el botón  se accede a la pantalla de ajustes, desde donde se podrán regular múltiples parámetros de la máquina.




Figura 12-9 Pantalla de ajustes

En el lado izquierdo se podrán regular las consignas básicas de la máquina. El lado derecho sirve para poder apagar la máquina o ponerla en modo manual, donde el usuario decidirá el funcionamiento de cada uno de los elementos internos de la máquina.

En esta pantalla ajustaremos las consignas referentes a la curva de compensación de  $T^a$  exterior para el cálculo de nuestra consigna de trabajo, la cual se mostrara en el recuadro denominado  $T^a$  impulsión a la derecha de la curva.

### Ajuste de la temperatura

Para acceder a esta pantalla pulsaremos sobre el icono  en cualquiera de las pantallas.

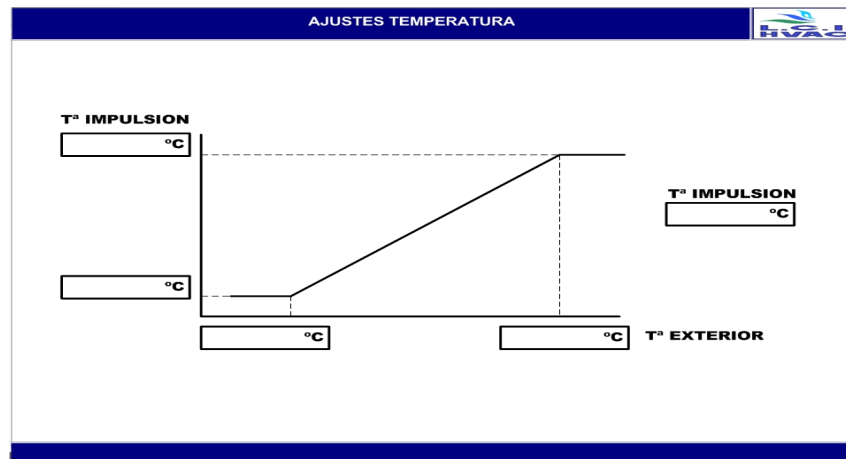



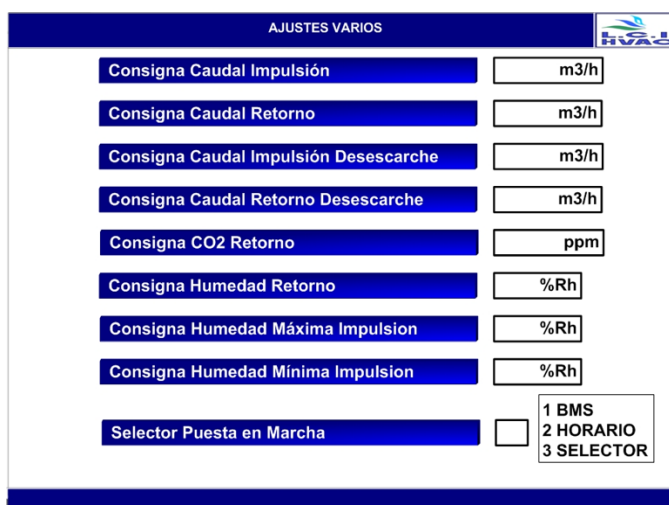
Figura 12-10 ajuste de las temperaturas de consigna

Sirve para ajustar las consignas de la temperatura de una manera más específica.



### *Pantalla ajuste varios*

En esta pantalla están disponibles el resto de consignas existentes en el sistema, para acceder a ella pulsaremos sobre el icono . Esta pantalla nos permite regular todas las consignas de la máquina. Estos ajustes solo deben ser modificados por personal cualificado.



La pantalla muestra el título 'AJUSTES VARIOS' en la parte superior. A la derecha hay un logo 'HVAC'. El contenido principal es una lista de parámetros de ajuste, cada uno con un botón azul a la izquierda y un campo de entrada a la derecha:

- Consigna Caudal Impulsión: m3/h
- Consigna Caudal Retorno: m3/h
- Consigna Caudal Impulsión Desescarche: m3/h
- Consigna Caudal Retorno Desescarche: m3/h
- Consigna CO2 Retorno: ppm
- Consigna Humedad Retorno: %Rh
- Consigna Humedad Máxima Impulsion: %Rh
- Consigna Humedad Mínima Impulsion: %Rh
- Selector Puesta en Marcha: ☐ 1 BMS, ☐ 2 HORARIO, ☐ 3 SELECTOR

Figura 12-11 Pantalla de ajuste de las consignas de funcionamiento

### *Ajuste de valores*

Para la modificación de cualquier consigna, pulsaremos sobre ella y se desplegará el siguiente teclado.




El teclado virtual tiene una interfaz con un icono de teclado en la esquina superior izquierda y un campo de entrada superior que muestra '0.0'. Debajo, se indican los límites de ajuste: 'Min: -3.40282e+38' y 'Max: 3.40282e+38'. El teclado principal está compuesto por botones numerados del 0 al 9, un botón de punto decimal, un botón de borrado ('Del'), un botón de escape ('Esc'), y botones de flechas (izquierda, derecha, arriba, abajo) y un botón de confirmación ('Enter').

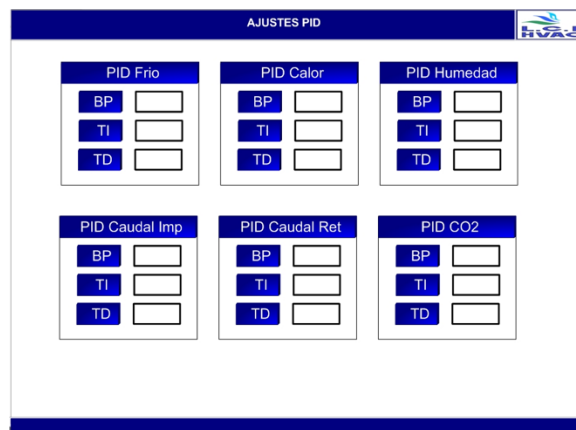
Figura 12-12 Teclado virtual en la pantalla táctil

Una vez desplegado, escribimos el valor deseado pulsando sobre las teclas y confirmaremos con la tecla enter.

Obsérvese que los valores de escritura, están limitados entre un valor máximo y mínimo, por lo que el teclado no permitirá la escritura de valores fuera de estos límites.

### Ajustes PID

En esta pantalla se muestran los ajustes referentes a los reguladores PID existentes en la UTA. La modificación de estas variables es conveniente que sea realizada por personal cualificado, ya que una configuración errónea puede provocar problemas de inestabilidad en los sistemas controlados. Para acceder a esta pantalla pulsaremos sobre el icono  en cualquiera de las pantallas.



La imagen muestra la interfaz de usuario de la pantalla 'AJUSTES PID'. El título de la pantalla es 'AJUSTES PID' y hay un logo 'HVAC' en la esquina superior derecha. La interfaz está organizada en una cuadrícula de seis paneles, cada uno para un tipo de controlador PID: 'PID Frio', 'PID Calor', 'PID Humedad', 'PID Caudal Imp', 'PID Caudal Ret' y 'PID CO2'. Cada panel contiene tres campos de entrada etiquetados como 'BP', 'TI' y 'TD', cada uno con un botón de configuración a su izquierda.

Figura 12-13 pantalla de ajuste de los PID

### Pantalla horario

En esta pantalla podremos establecer el horario de arranque y paro de la UTA, siempre y cuando el selector de puesta en marcha disponible en la pantalla de ajustes varios, se encuentre en la posición nº2. Disponemos de dos conmutaciones horarias diferentes.



Para acceder a esta pantalla pulsaremos sobre el icono en la pantalla de inicio.

## PROGRAMACIÓN HORARIA

Franja	Periodo	Fase	Hora	Occurence	Condition	Enable
verano	Daily	Time	16:00		None	<input checked="" type="checkbox"/>
invierno	Daily	Time	16:00		None	<input checked="" type="checkbox"/>
fin de semana	Daily	Time	16:11		None	<input checked="" type="checkbox"/>




Figura 12-14 pantalla de ajuste de la programación horaria

Para modificar cualquiera de los horarios de conmutación, pulsaremos sobre el recuadro donde aparece la hora y estableceremos la hora deseada en la ventana emergente.

Procederemos de igual forma para establecer los días a los que afecta el horario, pero esta vez pulsaremos sobre el recuadro correspondiente de la columna correspondiente.

### Historial de funcionamiento



Se accede a ella pulsando el icono . Esta pantalla nos permite conocer las horas de funcionamiento de la máquina y el historial de consumo.

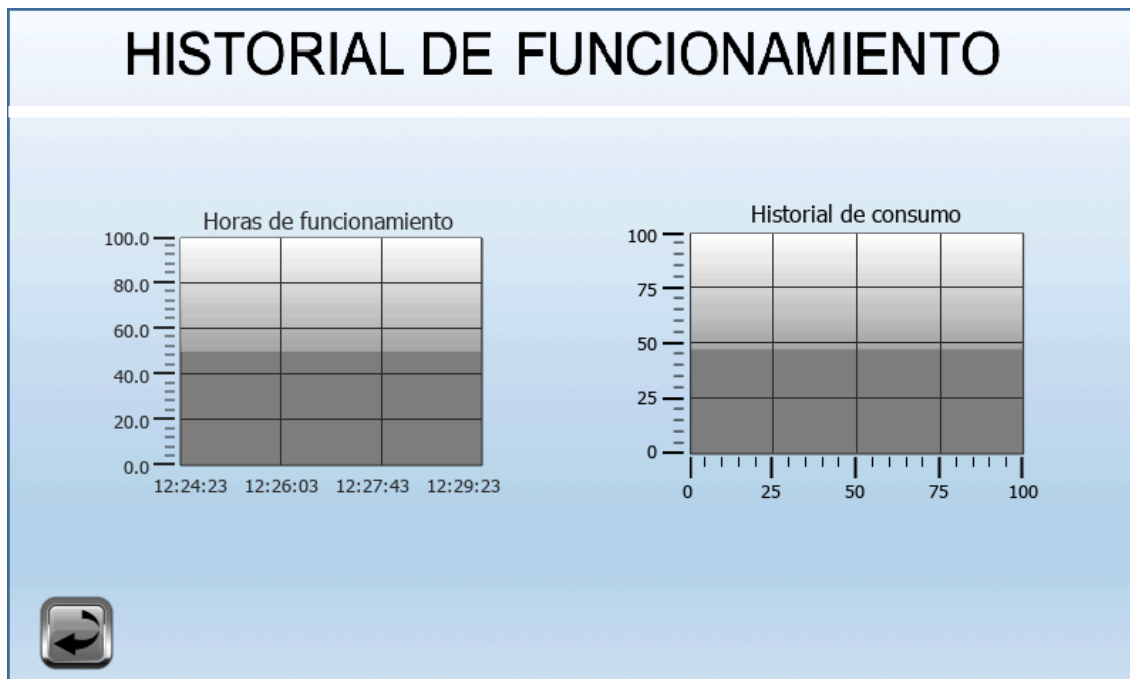



Figura 12-15 Pantalla con el historial de funcionaiento

### Contacto



A esta pantalla se accede pulsando el icono . En esta pantalla se encuentra toda la información de contacto del fabricante. En caso de avería es muy útil tener esta información a mano para poder proceder a la reparación lo antes posible.

## CONTACTO



**Telefono**

(+34) 918 140 657

**Email**

luanju@luanju.com

**Dirección**

Pol. Ind. Vereda del Tempranar  
C/ Castaño nº 2  
28942 Fuenlabrada (Madrid)



Figura 12-16 Datos de contacto

### Historial de alarmas

Este botón activo se ilumina en rojo cuando hay alguna alarma. Se accede a la



información de las alarmas pulsando el botón .

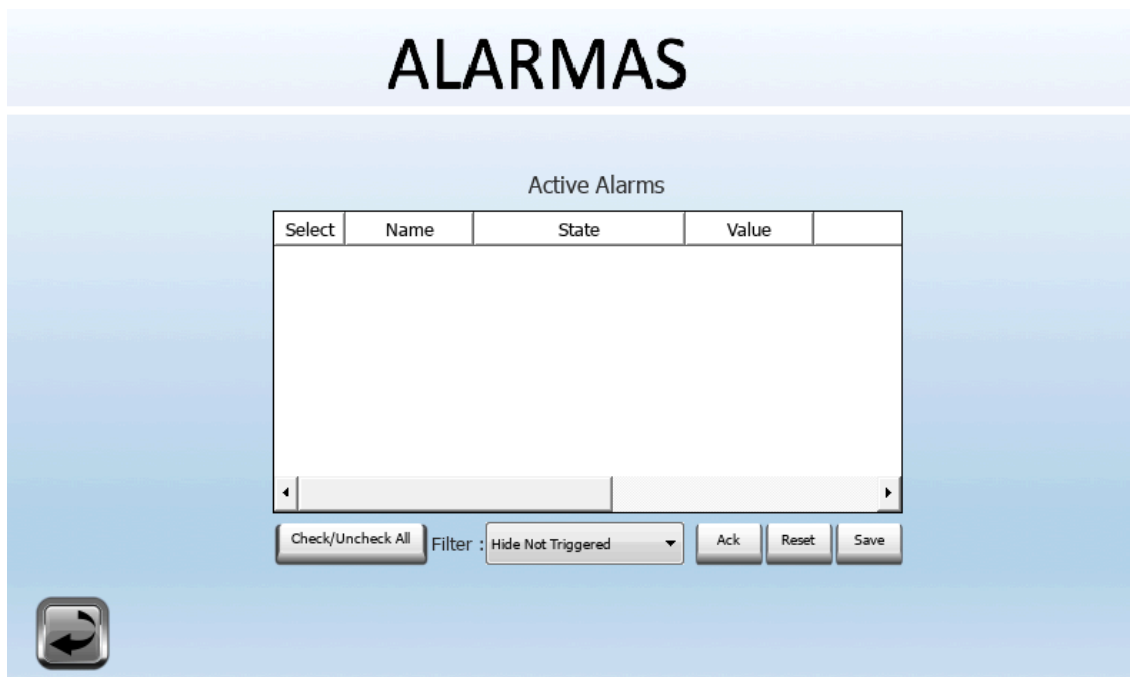


Figura 12-17 Pantalla historial de alarmas.



## Programación del PLC

Una vez conocido el PLC que se va a utilizar, procederemos a programarlo. Para ello utilizaremos el programa facilitado por el fabricante ABB para sus PLC.

Este programa consta de varias funciones, las cuales se ejecutan todas al mismo tiempo. Dichas funciones trabajan con unas variables globales comunes las cuales sirven para relacionar unas funciones con otras. A continuación describiremos cada una de las funciones programadas para facilitar su entendimiento.

Cada función esta programada utilizando el lenguaje de bloques. La mayoría de estos bloques están preprogramados, y se obtienen de las distintas librerías descargables facilitadas por el fabricante.

A continuación se presenta una propuesta de cómo podría ser el programa. LCI subcontrata la programación e instalación de los PLCs a un integrador. El programa que aquí se presenta es un acercamiento al programa que finalmente incorporará la máquina.

La programación del PLC se hará utilizando el programa CodeSys.

## Regulación de la temperatura

En primer lugar, al ser conocidas la temperatura y humedad tanto interior como exterior, se calcula la entalpía interior y exterior (bloques 1 y 4).

A continuación se guarda el valor de la entalpía interior y exterior en las variables UTA\_ENTALPIA\_EXT y UTA\_ENTALPIA\_INT (bloques 0 y 5). Una vez se han guardado los valores de las entalpías, se dividen entre 1000 para pasar de kJ/kg a J/kg (bloques 3 y 20) y posteriormente se convierten de números reales a número enteros para facilitar la utilización de los mismos (bloques 2 y 19).

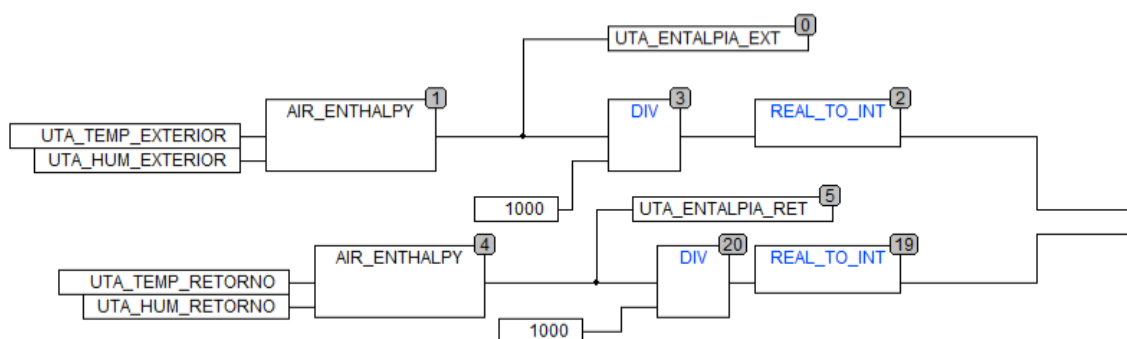
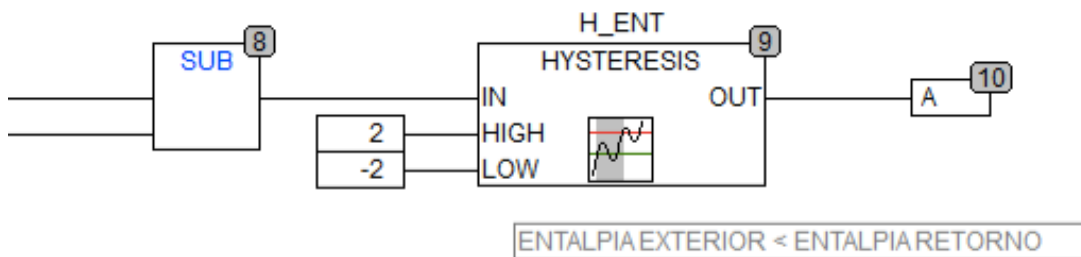


Figura 12-18 Cálculo de la entalpía interior y exterior

Finalmente, compararemos el valor de la entalpía interior y exterior (bloque 8) y en función de eso regularemos la variable A, la cual variará entre HIGH y LOW según la entalpía sea mayor en el interior o en el exterior. Adicionalmente se incorporará una histéresis (bloque 9), para evitar que la variable A cambie constantemente cuando la entalpía interior y exterior sea muy similar.



Figur 12-19 Guardado de cual es la entalpía mayor en la variable A



Para regular la temperatura se utiliza un sistema con dos bloques PID. El objetivo es que al ponerse la máquina a funcionar no se ponga al máximo y luego se caliente o enfrie demasiado. Esto suele suceder porque desde que se empieza a calentar hasta que el aire de retorno esta caliente transcurre mucho tiempo.

En el primer bloque PID, se compara la temperatura en el retorno con la temperatura máxima admisible en la piscina. Esto produce un salida y que nos dará la temperatura a la que debemos impulsar. Cuanto más se acerque la temperatura de retorno a la máxima admisible, más se acercará la temperatura de impulsión a la mínima a la que se puede impulsar.

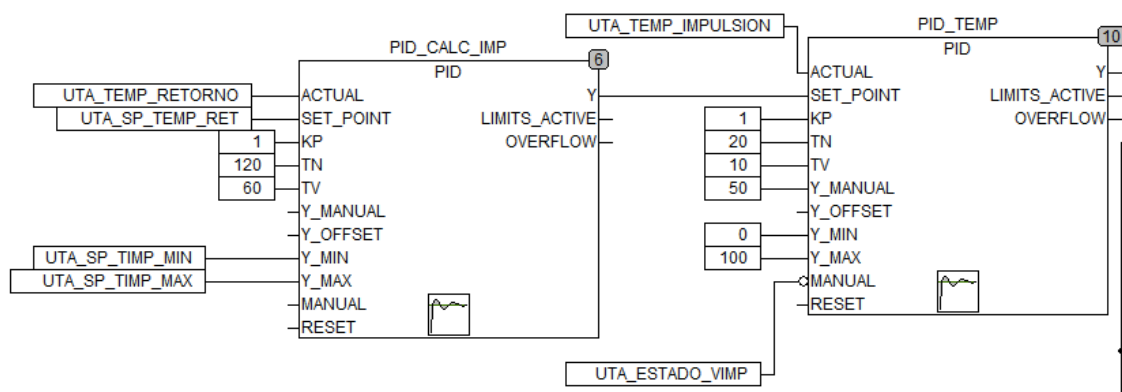


Figura 12-20 Cálculo de la temperatura de impulsión en función de la de retorno

En el segundo bloque PID se compara con la temperatura de impulsión y se produce una señal que va de 0 a 100. Si este número es 50, la temperatura interior es igual a la temperatura objetivo. Por debajo de 50, cuando menor sea este número, más alejada por arriba será la entalpía interior de la entalpía objetivo, por lo tanto será necesario reducir la temperatura interior. Por encima de 50, cuanto mayor sea este número más alejada por abajo estará la temperatura de la temperatura objetivo, por lo tanto habrá que reducir la temperatura interior.

A continuación dependiendo del número en la salida Y del bloque anterior se hará una de las siguientes acciones:

- 0-50: Comparando la entalpía interior y exterior, el sistema tratará de reducir la temperatura utilizando solo el sistema de compuertas. Para ello utilizará el dato almacenado en la variable A el cual indica si es más conveniente el aire interior o el exterior.
- 50-70: Comparando la entalpía interior y exterior, el sistema tratará de aumentar la entalpía utilizando solo el sistema de compuertas.
- 70-100: La deshumectadora tendrá que calentar el aire. Para ello empleará la batería de apoyo. El bloque 14 se encarga de re-escalar el valor a uno de 0 a 100, (70=0; 100=100). Para 0 la batería estará apagada y para 100 la batería funcionará al 100% de su capacidad. Esto se regula con una válvula de tres vías.

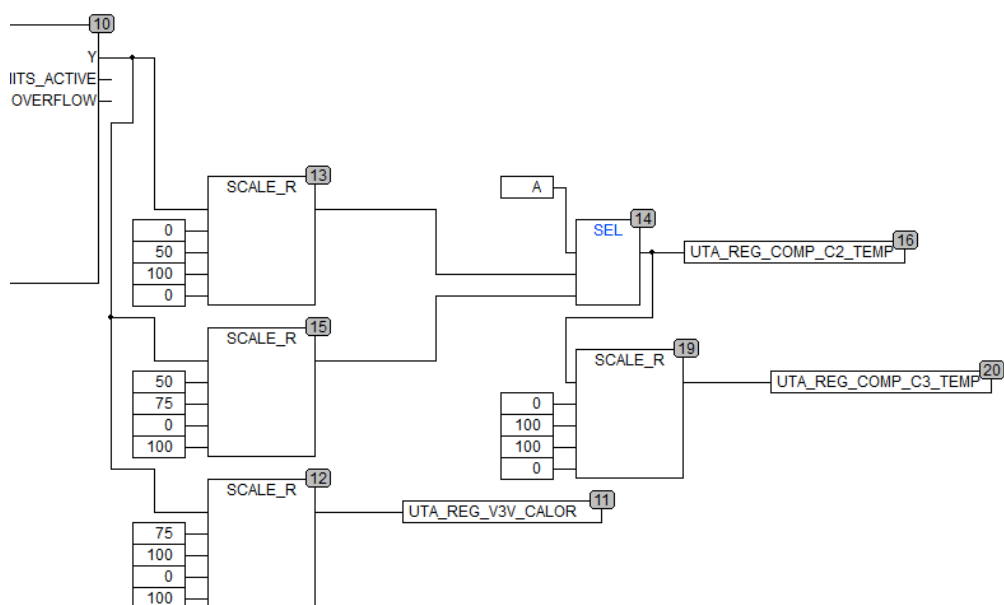


Figura 12-21 regulación de los elementos físicos en función de las temperaturas

En caso de que hubiera que instalar el aerotermo opcional, este se regularía con la señal entre 0 y 25 y luego las compuertas irían de 25 a 50.

## Regulación de la humedad

En primer lugar, al igual que con la entalpía, calculamos la humedad absoluta gracias a la temperatura seca y a la humedad relativa interior y exterior (bloques 0 y 1).

A continuación se guardan estos valores en las variables globales UTA\_HUM\_ABS\_EXT y UTA\_HUM\_ABS\_INT (bloques 2 y 3). Luego se transforman estas variables en números enteros (bloques 6 y 10) y se comparan en el bloque 7.

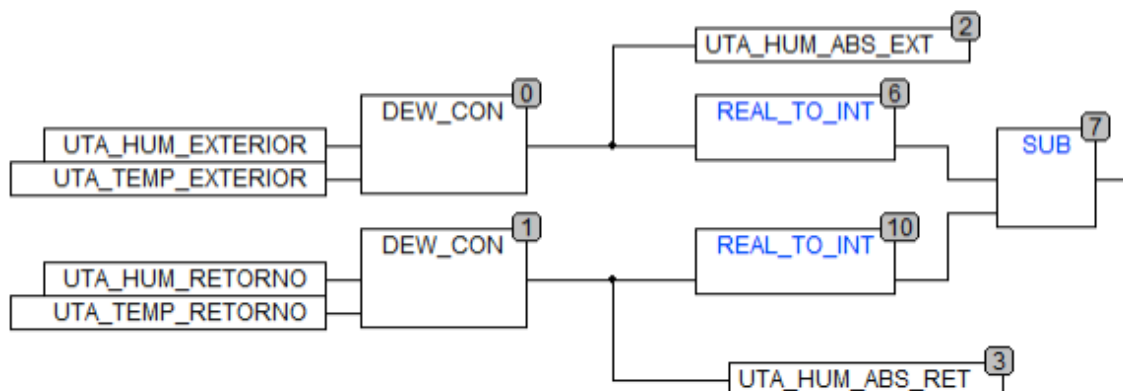


Figura 12-22 Cálculo de las humedades absolutas interiores y exteriores

La salida del bloque 7 se compara la humedad absoluta interior y exterior y se produce una señal HIGH o LOW en función de cual sea mayor. A continuación el bloque 8 es una histéresis para que cuando la humedad interior y exterior sea muy parecida, la variable B no cambie constantemente. Finalmente en el bloque 9 se almacena el valor de qué humedad es mayor en la variable global B.

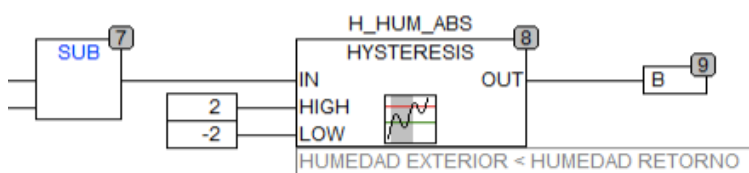


Figura 12-23 almacenamiento de cual es la humedad absoluta mayor en la variable B

Por otro lado, el bloque 4 produce una señal de 0 a 100 en función de cómo de cerca se encuentre la piscina de la humedad máxima admisible. Homónimamente, el bloque 13 produce una señal de 0 a 100 en función de lo cerca que esté la piscina de la humedad mínima admisible.

A continuación, el bloque 15 invierte el signo de la salida y el bloque 11 suma las salidas. De esta manera obtenemos una señal C la cual tiene un rango de -100 a +100 dependiendo la cual nos indicará cuanto hace falta humectar o deshumectar.

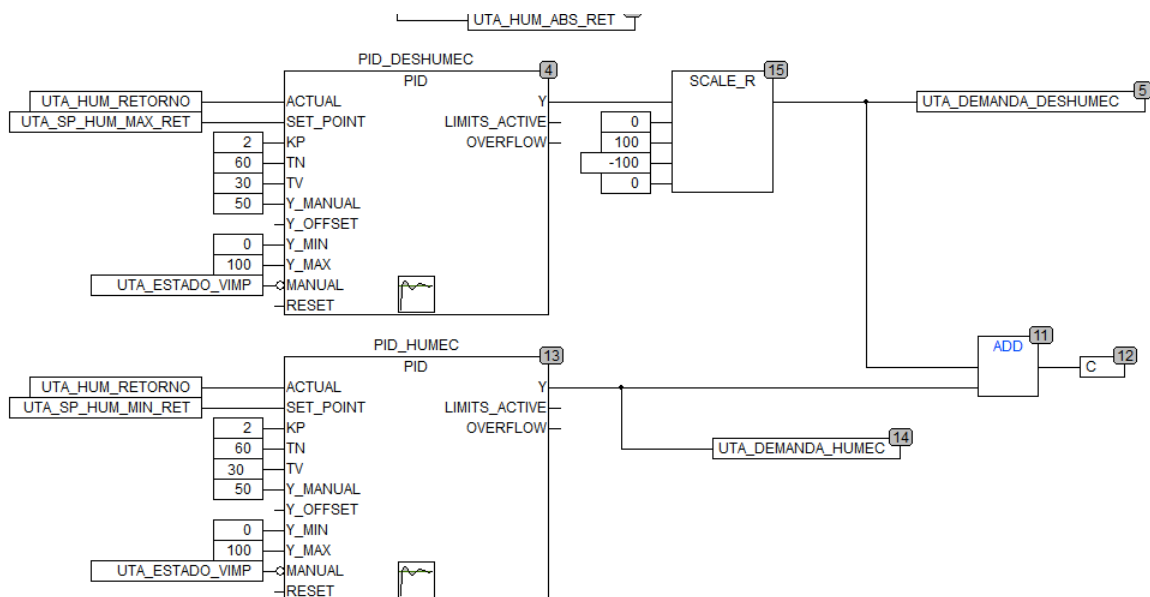


Figura 12-24 Calculo de si es necesario humectar o deshumectar

Por último, a partir de la variable C, se pueden dar tres acciones:

- -100->-50: Se enciende el compresor para deshumectar.
- -50->0: Utilizando la variable B, se decide que aire es más conveniente, el interior o el exterior, y se deshumecta utilizando el sistema de compuertas.
- 0->100: Utilizando la variable B, se decide que aire es más conveniente, el interior o el exterior, y se humecta utilizando el sistema de compuertas.

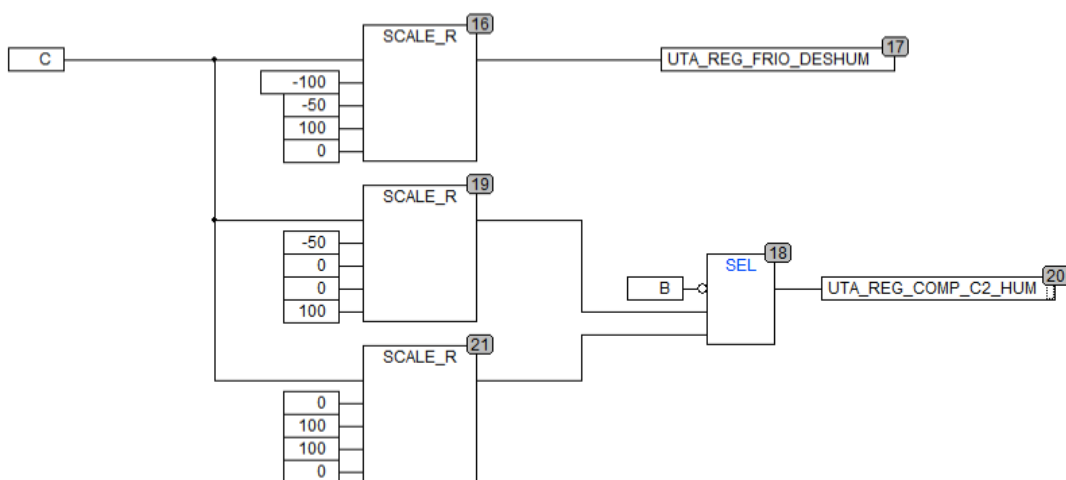


Figura 12-25 Regulación de los elementos físicos en función de la humedad

## Regulación del CO2

Para regular el CO2 se utiliza la sonda instalada en el retorno. El valor obtenido por esta sonda se almacena en la variable UTA\_CO2\_RETORNO. El bloque 0, compara el valor de CO2 en el interior de la piscina con el valor máximo de CO2. Cuando este valor se supere, se comenzará a emitir una señal de 0 a 100 que aumente progresivamente.

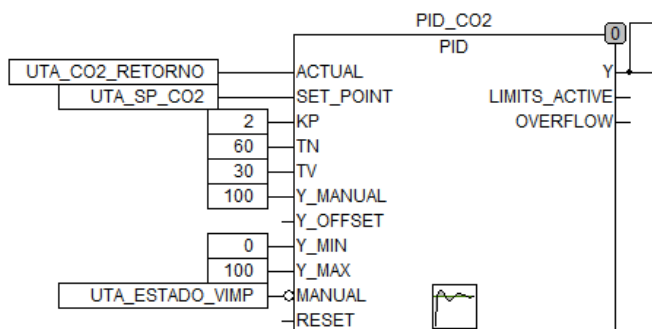


Figura 12-26 PID de ajuste del CO2

Esta señal provoca dos acciones, por un lado, cuanto mayor sea el valor de salida Y, más se le pedirá a la compuerta C2 (Compuerta exterior) que se abra. El bloque 3 invierte el signo de esta señal y regula la compuerta C3 (de recirculación).

De esta manera, cuanto mayor sea el valor de CO2, más se abrirá la compuerta exterior y más se cerrará la compuerta de recirculación.

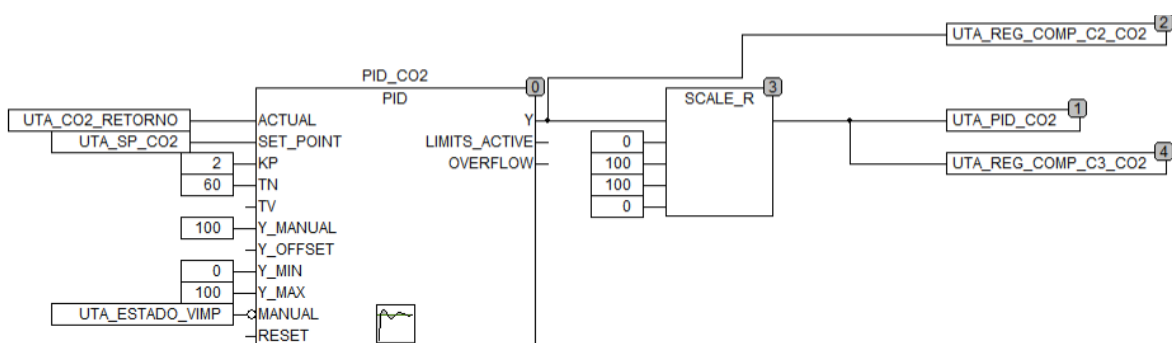


Figura 12-27 Regulación de las compuertas en función del CO2

### 13. Comprobación de las especificaciones

Capacidad de deshumectación  $>8$  kg/h

Como se puede comprobar en la ficha técnica de la evaporadora, la deshumectación es de 8.7 kg/h, por lo tanto esta especificación se cumple con éxito.

Consumo eléctrico  $< 5$  kW:

Como se puede ver en la tabla de consumos, el consumo total es:

Consumo del compresor: 3.58 kW.

Ventilador de impulsión: 0.751 kW.

Ventilador de retorno: 0.293 kW.

Consumo total: 4.83 kW.

Por lo tanto se cumple el objetivo de que el consumo total sea menor a 5 kW.

Comprándonos con Sedical, que tienen un COP de 4.4 y nosotros tenemos un COP de 4.91. El resto de empresas de la competencia, al utilizar el refrigerante R407c, tienen un consumo eléctrico mayor.

Dimensiones: menor que 1x3x1.5 metros.

Como se puede observar en el apartado “11.6.3 Forma final + CAD” la máquina mide:

Ancho = 812 mm.

Largo = 2820 mm.

Alto = 1450 mm.

Por tanto, en cuanto a dimensiones, la máquina también es apropiada.

Caudal  $\leq 2500$  m<sup>3</sup>/h

Otro factor limitante es el caudal que es capaz de proporcionar la máquina, para que el aire del local quede uniformemente distribuido y evitar el estancamiento. Como podemos comprobar en las fichas técnicas de los ventiladores, estos son capaces de dar 2500 m<sup>3</sup>/h con un margen del 10 %, por lo tanto este requisito también se cumple.

Regulación automática de la temperatura y la humedad, para mantener la temperatura entre 26°C y 31°C y la humedad por debajo del 80% como establece el RITE.

Como se puede observar en el apartado “**Error! Reference source not found.**” el PLC se encargará de que la maquina gestione automáticamente sus elementos físicos para acercarse a los valores de consigna establecidos.

Precio del prototipo < 10000€

**Tabla 13-1 Cálculo del costo del prototipo**

Elementos principales	Precio (€)
<b>Base de compresión</b>	804.2
<b>Evaporadora</b>	224
<b>Condensadora</b>	257
<b>Batería de apoyo</b>	150
<b>Ventilador de impulsión</b>	417
<b>Ventilador de retorno</b>	295.85
<b>Regulador de los ventiladores (x2)</b>	115x2
<b>Recuperador de Calor</b>	346
<b>Filtro F6 (x2)</b>	60x2
<b>Filtro F8</b>	80
<b>Total</b>	<b>2924.05</b>

Envolvente	Precio (€)
<b>Marco de Aluminio</b>	<b>350</b>
<b>Chapa de Acero inoxidable</b>	<b>200</b>
<b>Panel de lana de roca (50mm)</b>	<b>160</b>
<b>Bancada</b>	<b>92</b>
<b>Total</b>	<b>802</b>



Elementos de la envolvente	uds	Kg/ud	P / ud	P.V.P. (€)
<b>Cubrejuntas</b>	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>9</b>	<b>94</b>
<b>Puertas</b>	<b>6</b>		<b>35</b>	<b>207</b>
<b>Bandejas</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>30</b>
<b>Embocaduras</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>10</b>
<b>Transmision</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>50</b>	<b>0</b>
<b>Tomas presión</b>	<b>0</b>		<b>23</b>	<b>0</b>
<b>Puntos luz</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>40</b>	<b>0</b>
<b>Modulos</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>60</b>	<b>0</b>
<b>Mirilla</b>	<b>2</b>		<b>5</b>	<b>10</b>
Precio total				<b>351€</b>

<b>Mano de obra</b>	<b>729€</b>
---------------------	-------------

Elemento	Precio €
<b>Elementos principales</b>	2924.05
<b>Envolvente</b>	802
<b>Elementos de la envolvente</b>	351
<b>Mano de obra</b>	729
<b>Precio total</b>	<b>4806.05€</b>

Por lo tanto el prototipo esta dentro del presupuesto y se procederá a su fabricación.



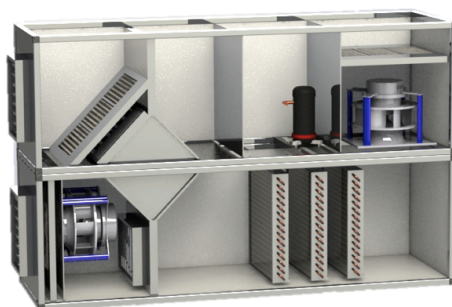
## 14. Creación de ficha técnica

## Ficha técnica comercial

Es necesario generar una ficha técnica en la cual se especificarán los detalles de la máquina, sus dimensiones, consumos y modos de funcionamiento. Esta ficha técnica se entregará a los clientes.



**GW-9**



## GAMA GW – Equipos deshumectadoras de media y alta potencia con circuito frigorífico integrado.

Caudal de aire de la GW-9: 2500 m<sup>3</sup>/h

### Características:

- ❖ Filtración del aire en todos los modos de funcionamiento.
- ❖ Grupo frigorífico incluido dotado de compresor Scroll. Muy compacto y eficiente.
- ❖ Estructura de acero galvanizado con aislamiento de lana de roca. Resistente a agentes exteriores e interiores.
- ❖ Batería de apoyo incorporada para caldera. Circuito con válvula de 3 vías para su regulación con el control.
- ❖ Cuadro eléctrico diseñado según el reglamento de alta tensión y con grado de protección IP54.
- ❖ Sistema de control PID libremente programable con pantalla táctil y menús en castellano.

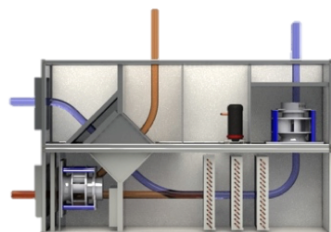
### Opcionales:

- ❖ Condensador refrigerante-agua para el agua del vaso.
- ❖ Aerotermo refrigerante-aire.
- ❖ Versión agua caliente de baja temperatura
- ❖ Control dotado de servidor web.
- ❖ Acceso a distancia a través de internet.
- ❖ Baterías cobre-cobre.
- ❖ Presostato filtros sucios.
- ❖ Compuerta de by-pass.
- ❖ Tejadillo para las instalaciones en exteriores.
- ❖ Comunicación por BMS
- ❖ Tratamiento epoxi
- ❖ Impulsión lateral o superior
- ❖ Filtros de alta eficiencia

**LCI HVAC**  
+34 91 814 06 57  
[www.lcihvac.com](http://www.lcihvac.com)

## ➔ Modos de funcionamiento principales

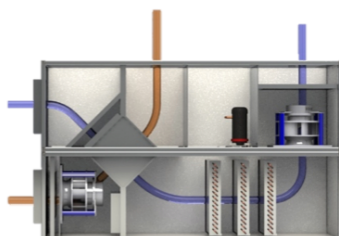
### Deshumectación con circuito frigorífico y aire exterior.



En los casos en los cuales el aire exterior tenga una humedad absoluta inferior a la humedad interior, se utilizará el aire exterior para deshumectar complementando al sistema frigorífico.

La compuerta de bypass del recuperador estará abierta en caso de que el aire exterior esté a una temperatura inferior a la interior. El aire de recirculación se mezcla con el exterior y pasa por el circuito frigorífico para deshumectarse. Posteriormente, si es necesario, se pos calienta el aire en la batería de agua y se impulsa al local.

### Deshumectación utilizando 100% aire exterior.

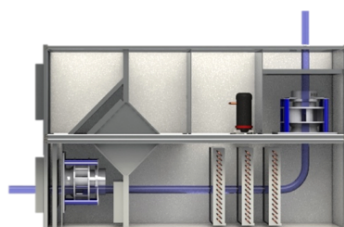


Si las condiciones exteriores son adecuadas, la compuerta de recirculación se cerrará proporcionalmente y se aprovechará el aire exterior.

El recuperador es de gran utilidad en este caso, permitiendo acondicionar el aire exterior a las condiciones óptimas de impulsión sin necesidad de utilizar el sistema frigorífico, ahorrando energéticamente.

Free-cooling es una opción, gracias a la compuerta de bypass.

### Deshumectación en recirculación.



Para habilitar la piscina se podría deshumectar con aire recirculado hasta su puesta en marcha.

En este modo de funcionamiento, el aire interior se deshumecta en la evaporadora hasta adquirir unas condiciones óptimas para su impulsión. En caso de necesitar una temperatura de impulsión mayor, se recurrirá a la batería de agua.

## → Características técnicas

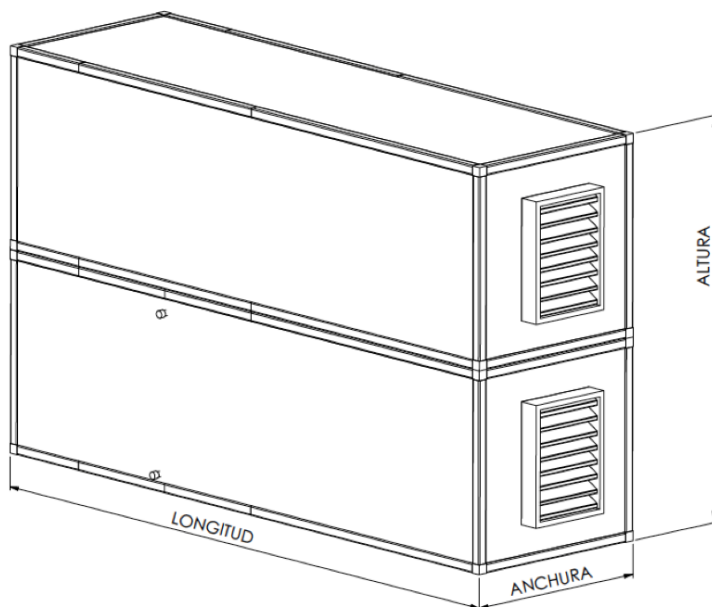
Datos técnicos		GW9
Potencia frigorífica	(KW)	14,54
Caudal de aire nominal	(m <sup>3</sup> /h)	2500
Potencia deshumectación	(kg/h)	9.00
Nº de compresores		1
Tipo de compresor		Scroll
Circuitos frigoríficos		1
Consumo eléctrico del compresor	(kW)	3.58
Presión disponible impulsión	(Pa)	150
Presión disponible retorno	(Pa)	150

Recuperador		GW9
Potencia recuperada	(kW)	11,3
Rendimiento		70%
Pérdida de carga	(Pa)	150

Consumos		GW9
Consumo nominal compresor	(kW)	3,58
Consumo ventilador impulsión	(kW)	0,76
Consumo ventilador retorno	(kW)	0,49
Consumo total	(kW)	4,83

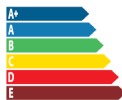
Batería de apoyo de agua caliente		GW9
Potencia	(mm)	21,3
Caudal de agua	(l/s)	0,308
Pérdida de carga	(kPa)	8,3

➔ **Dimensiones**



Dimensiones		GW9
Ancho	(mm)	812
Largo	(mm)	2820
Alto	(mm)	1450
Peso	(kg)	

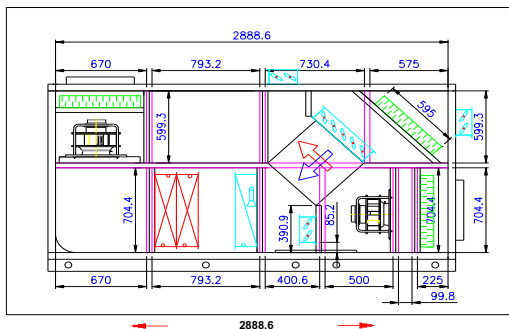
## Ficha técnica post-venta



Cliente:		Fecha:	2017-02-27	Nº Oferta:	
Ciudad:	Madrid	Temp. Invierno:	-4.9	HR Invierno %:	90
Obra:		Temp. Verano:	36.1	HR Verano %:	27.7
Referencia:	GW9	Unidades:	1	Tecnico:	

Unidad de Tratamiento de Aire COMPACT	Modelo:	CP- 3
---------------------------------------	---------	-------

Ancho= 811.4



100 + 1339

	Impulsión	Retorno	
Caudal	2500	2500	m3/h
Presión Estática Disponible	200	200	pa

Velocidad de paso Impulsión: 0.81 m/s  
Velocidad de paso Retorno: -9.00 m/s

### Aspectos Estructurales:

**Perfil:** Aluminio Extruido 55  
**Panel:** Lana de roca e=50 40kg/m3  
**Aislamiento:** Lana de roca e=50 40kg/m3  
**Interior:** Acero inoxidable AISI-304  
**Exterior:** Chapa Galvanizada Prelacada Ral-9010

**Cubrejuntas interiores:** Acero inoxidable AISI-304  
**Estructura:** Aluminio  
**Acabado:** Interior  
**Montaje:** Bancada  
**Peso:** 690 kgs



### Filtros:

**Descripción:**  
Miniplegado Servimini F6 (Marco metálico) rejilla electrosoldada Norma EN-779  
Miniplegado Servimini F8 (Marco metálico) rejilla electrosoldada Norma EN-779

Pérd. carga inicial / pa	Calculo / pa	Posición
53	126	Impulsión
103	202	Retorno

### Compuertas:

Posición:	Dimensiones:	Material:	V. paso/m.sg	Servomotor:	Pérd. carga / pa	Caudal:
Aire Exterior	500 210	Aluminio	6.61	No	20	2500
Mezcla	500 210	Aluminio	6.61	No	20	2500

### Recuperador:

Denominación:	Potencia/Kw	Eficiencia %	P. Carga Imp. / pa	P. Carga Ret. / pa
BE AC 05 N 0700 M 1 AR CD SC ABBP140	2.55	73.2	140	149

### Baterías:

Denominación:	Modelo	Potencia / Kw	P. Carga / pa	Observaciones
Batería de Frío Cu-AIMg2,5-FeZn	P3012ED 3R-20T-490A-2.0pa 10C 28mm	14.54	105	
Batería de Calor Cu-AIMg2,5-FeZn	P40AC 2R-15T-540A-2.0pa 2C 34"	20	40	
Batería Condensación Cu-AIMg2,5-FeZn	P3012COND 4R-20T-540A-2.0pa 3C 28mm 22	17.69	46	

### Grupo frigorífico:

Denominación:	Nº compresores	Consumo Eléctrico:	COP
PANASONIC SCROLL	1	3.58	4.91

### Ventilador de Retorno:

Marca:	Denominación:	RPM	P.E.D. / pa	P.E.T. / pa	Potencia ABS/Kw	Rendimiento %
ZIEHL ABEGG	GR45C-ZIK.DC.CR	2583	100	358	0.293	60.3
Motor tipo	Tamaño	Potencia kw	RPM	Voltaje	Consumo Amp.	
ECblue	Regulador EC Integrado	1.8	2960	200V...277V	3.9	

### Ventilador de Impulsión:

Marca:	Denominación:	RPM	P.E.D. / pa	P.E.T. / pa	Potencia ABS/Kw	Rendimiento %
ZIEHL ABEGG	GR31CZID.DC.CR	2437	100	764	0.764	61.7
Motor tipo	Tamaño	Potencia kw	RPM	Voltaje	Consumo Amp.	
ECblue	Regulador EC Integrado	2.5	3640	380V...480V..	4	

### Suplementos:

Protección equipotencial en ventiladores  
Conexiones flexibles en ventiladores  
Marcado de seguridad CE



## 15. Fabricación



Por último, se ha fabricado la máquina para poder testearla, aquí se muestran algunas fotos de la misma.

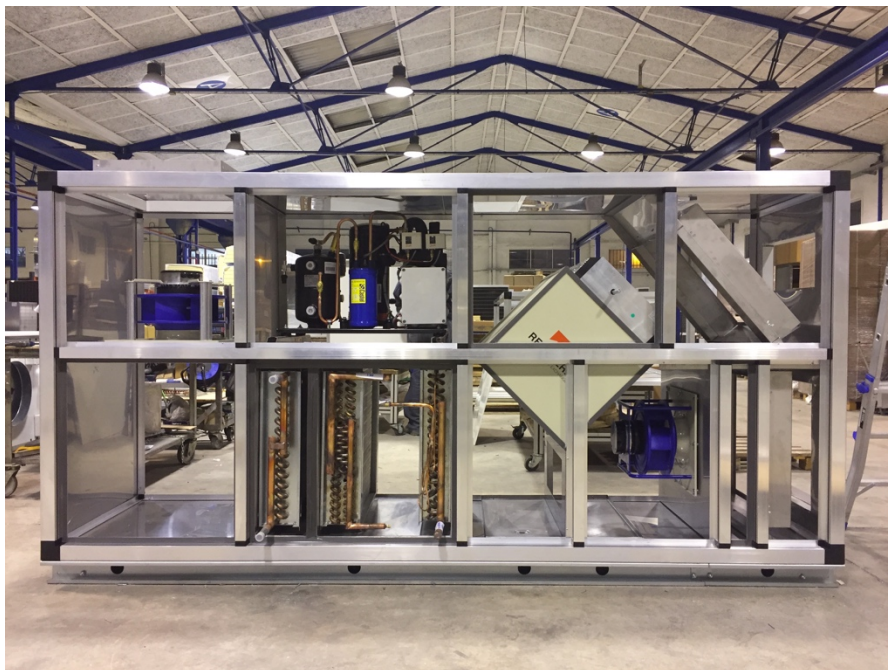


Figura 15-1: Vista lateral de la máquina



Figura 15-2: Detalle del Bypass

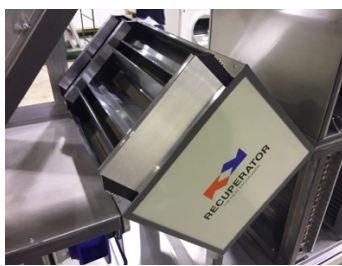


Figura 15-3: Recuperador de placas

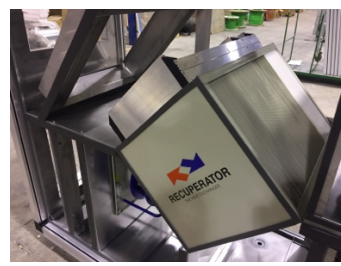


Figura 15-4: Detalle de las aletas pintadas en epoxi



Figure 15-5: Evaporador, condensador y batería de apoyo.

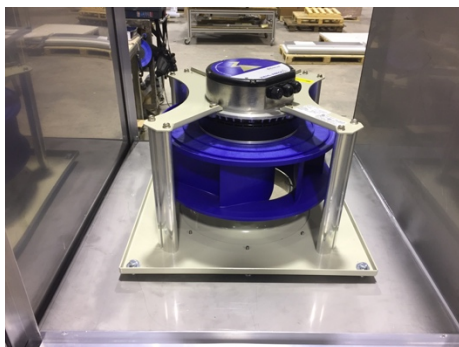


Figura 15-6: Ventilador pintado en epoxi y oído plástico para evitar corrosión.

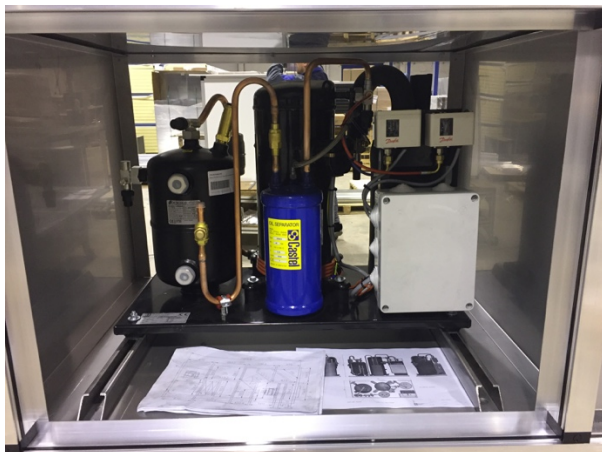


Figura 15-7: Base de compresión, incluye compresor, recipiente de líquido, separador de gotas y filtro deshidratador.



Universidad Carlos III de Madrid

TFG: Diseño y desarrollo de una máquina de climatización para la deshumectación de piscinas cubiertas.

## 16. Comprobación de resultados

Una vez realizado el proyecto, se procede a comprobar que se han conseguido todos los objetivos específicos del mismo.

**Objetivo específico 1 :** *Conocer la teoría existente en referencia a la psicrometría y sistemas frigoríficos.*

**Resultado 1:** Desarrollado en el apartado Marco teórico

**Objetivo específico 2:** *Identificar las características que debe cumplir la máquina deshumectadora de piscinas cubiertas (especificaciones técnicas).*

**Resultado 2.** Desarrollado en el apartado Especificaciones que debe cumplir la máquina a diseñar y fabricar.

**Objetivo específico 3:** Conocer la legislación vigente respecto a la climatización de piscinas cubiertas.

**Resultado 3:** Desarrollado en el apartado Marco regulador.

**Objetivo específico 4:** *Describir el funcionamiento de la máquina deshumectadora en distintas condiciones climáticas.*

**Resultado 4:** Desarrollado en el apartado Descripción del funcionamiento de la máquina

**Objetivo específico 5:** *Desarrollar un sistema térmico adecuado a las necesidades de la máquina deshumectadora de piscinas cubiertas.*

**Resultado 5:** Desarrollado en el apartado Diseño del sistema térmico (Pág. 72).

**Objetivo específico 6:** Diseñar una máquina deshumectadora para piscinas cubiertas de unos 120 m<sup>2</sup>.

**Resultado 6:** Desarrollado en el apartado 10 Diseño de la máquina.

**Objetivo específico 7:** *Programar el PLC que se encargará del funcionamiento autónomo de la máquina deshumectadora de piscinas cubiertas.*



**Resultado 7:** Desarrollado en el apartado 12 Automatización de la máquina deshumectadora.

**Objetivo específico 8:** Comprobar que todas las especificaciones técnicas identificadas en el objetivo 1 se cumplen.

**Resultado 8:** Desarrollado en el apartado 13 Comprobación de las especificaciones.

**Objetivo específico 9:** Desarrollar una ficha técnica comercial para la máquina deshumectadora de piscinas cubiertas.

**Resultado 9:** Desarrollado en el apartado 14 Creación de ficha técnica.

**Objetivo específico 10:** Fabricar la máquina deshumectadora de piscinas cubiertas acorde al diseño y desarrollo de la misma.

**Resultado 10:** Desarrollado en el apartado 15 Fabricación.



## 17. Conclusiones

Tras comprobar los resultados obtenidos, podemos concluir que el proyecto se ha realizado con éxito. A continuación se analizará cada uno de los pasos seguidos en el proyecto.

En primer lugar se ha realizado un estudio referente a las máquinas deshumectadoras existentes actualmente en el mercado español. Esto es fundamental a la hora de desarrollar un nuevo producto ya que este ha de ser competitivo. Conocer todos los productos que se comercializan también ha sido muy útil a la hora de desarrollar nuevas ideas en base a lo que ya existe actualmente.

Con estos conocimientos, se han establecido los objetivos del proyecto para crear un producto competitivo de alta calidad. Los requisitos mínimos se han identificado en la hoja de especificaciones. Al final del proyecto se ha comprobado que la máquina diseñada cumple todas ellas según se muestra en su ficha técnica.

Seguidamente, se ha estudiado toda la teoría referente al ámbito de la climatización, la cual es la base de conocimiento necesaria y fundamental para comprender el funcionamiento de la máquina. Gracias a esto se han podido realizar todos los cálculos necesarios. Por otro lado se ha estudiado toda la legislación referente a este tipo de máquinas para asegurar que es legal el uso de esta máquina en todo el territorio nacional.

A continuación se ha diseñado el sistema térmico. Este ha determinado las características de deshumectación de la máquina. En este punto, es fundamental optimizar el COP del sistema frigorífico, para poder deshumectar utilizando la mínima cantidad de energía posible. El ahorro energético es fundamental ya que este tipo de máquinas se encuentran encendidas por un largo periodo de tiempo, por lo tanto, cada kW que se pueda reducir en el consumo tiene un gran impacto medioambiental y económico.

Por ello, partiendo de unos valores iniciales estándares, se ha iterado seis veces hasta que se ha conseguido un COP de 4.91, el cual es bastante elevado en el ámbito de las máquinas de climatización para uso público.

Una vez conocido el sistema térmico, se ha procedido a diseñar el resto de la máquina. Para ello, en primer lugar se han seleccionado todos los elementos interiores necesarios, es decir, filtros, recuperador de calor, ventiladores, etc. A la hora de seleccionar cada uno de ellos se ha tenido en cuenta que se cumpla la legislación aplicable respecto de cada uno de ellos y que cumplan con las especificaciones que se han establecido al principio del proyecto para asegurar el buen funcionamiento de la máquina.

Una vez conocidos todos los elementos que ha de llevar la máquina, se ha procedido al diseño de la envolvente. Es fundamental ordenar todos los elementos interiores adecuadamente para conseguir que esta tenga las dimensiones más reducidas posibles, siendo así más compacta, fácil de instalar y reduciéndose así el precio de la envolvente.

Por último, una vez determinados todos los elementos físicos, se ha implementado el control, el cual se encargará de la gestión de los elementos físicos de la máquina de manera automática. Para ello, se han introducido unos parámetros objetivo o “set point” a los cuales la máquina intentará acercarse en todo momento. Cuanto más lejos estén los valores medidos en las sondas de los valores objetivo, más elementos físicos utilizará la máquina para corregir la diferencia entre los valores leídos en las sondas y los valores objetivo.

Finalmente, se han comprobado que la máquina cumple todos los requisitos que se establecieron al principio del proyecto en [Hoja de especificaciones](#). Como se puede ver en el apartado Comprobación de las especificaciones, la máquina GW9 cumple con todas las especificaciones requeridas, por tanto se da como exitoso este proyecto de diseño y desarrollo.

Una vez finalizado el proceso de diseño y desarrollo se ha procedido a la fabricación del equipo para poder testear los datos obtenidos de manera teórica.





## 18. Bibliografía

-Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

-Hassan M. Bagheri. ASHRAE fundamentals handbook 2014, ASHRAE. 2014.

ANSI/ASHRAE Standard 15-2007: Safety Standard for Refrigeration Systems

-Hassan M. Bagheri. ASHRAE Handbook usage, ASHRAE. 2014.

-ASME Standard B31.5-2006: Refrigeration Piping and Heat Transfer Components Refrigeration Piping and System Components

-IIAR Bulletin 116: Avoiding Component Failure in Industrial Refrigeration Systems Caused by Abnormal Pressure or Shock.

-Carrier Air Conditioning Co. Handbook of air conditioning system design, McGraw-Hill, 1999.

-“Fundamentals of Engineering Thermodynamics” M.J. Moran ,  
H.N. Shapiro. John Wiley & Sons. 6th edition, 2010.

-“Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, F.P. Incropera and D.P.  
DeWitt. John Wiley & Sons. 6th edition, 2007.



### Páginas web consultadas

- <http://www.atborealis.com/producto/bombas-de-calor-horizontales-hh/>
- <http://www.grupociat.es/rubrique/index/spa-catalogue/33/AQUAIR-BCP/1766>
- <http://www.sedical.com/categoria-producto/sistemas-de-bombas-de-calor-enfriadoras-deshumectadoras-sedical-y-sedirec-es-es-es/deshumectadoras-de-piscinas-sedical-es>
- <http://www.menerga.es/productos/deshumectacion-de-piscinas-cubiertas/thermocond39>
- <http://www.carrier.es>
- <http://www.tuaireacondicionado.net>
- <http://www.engineeringtoolbox.com>
- <http://www.ziehl-abegg.com/global/de/>
- <http://www.ebmpapst.es/es/>
- <http://www.comefri.com/residential-commercial?id=43>
- <http://www.dbmcoils.com>
- <http://www.recuperator.eu/eng/index.asp>
- <http://www.area.es/productos/compresores>
- <http://www.servifiltro.com/index.php/es/filtración>
- <http://new.abb.com/plc/programmable-logic-controllers-plcs>

## 19. Recursos informáticos

Debido a los complejos cálculos y operaciones realizados durante el proyecto, se han utilizado múltiples herramientas informáticas para facilitar el trabajo y asegurar una máxima precisión.

**Sicro V2:** Programa para utilizar el diagrama psicrométrico desarrollado por la universidad politécnica de Valencia y Atecyr.

**Solkane:** Programa informático para el cálculo de sistemas frigoríficos utilizando el diagrama de Mollier.

**Sanyo-Scroll:** Programa informático para elegir compresores Panasonic en base a su funcionamiento y evaluar su rendimiento en diferentes puntos de trabajo.

**DBM Heat exchangers:** Programa para la selección de baterías de nuestro proveedor DBM. Evalúa el funcionamiento de cada batería en bajo distintos parámetros de funcionamiento y proporciona útiles datos como la cantidad de deshumectación etc.

**Fan-Select:** Programa de selección de ventiladores de nuestro proveedor ZIEHL-ABEGG. A partir del caudal y la pérdida de carga a vencer, propone distintos ventiladores adecuados y evalúa su funcionamiento, consumo y rendimiento dentro de la curva de trabajo de cada uno.

**REX:** programa de selección de recuperadores de calor de nuestro proveedor Recuperator.

**Automation Builder y CodeSys:** Ambos utilizados para programar el PLC que se encarga del control de la máquina.

**Panel builder 600:** Utilizado para programar de la pantalla táctil del PLC.

**AutoCad:** para dibujar la máquina de un forma precisa y realizar los planos que se enviarán a fábrica

**SolidWorks:** Programa de CAD para realizar la máquina con mayor precisión y obtener una mejor presentación.

**Microsoft Word.**

**Microsoft Excel.**

## ANEXO 1: Fichas técnicas

### Ficha técnica de la base de compresión



AREA COOLING SOLUTIONS S.A.U.

Tel. +34.93.574 82 40

Fax. +34.93 544 36 46

Mail: xavier.mayne@area.es

www.area.es

- SEDE -

VAT Nº: A58225798

Pol. Ind. Can Oller - C/ Valencia 17-19 nave 4  
08130 Santa Perpetua Mogoda - Spain

- DIRECCIÓN FACTURA -

NIF Nº: A58225798

Pol. Ind. Can Oller - C/ Valencia 17-19 nave 4  
08130 Santa Perpetua Mogoda - Spain

LUANJU CLIMATIZACION INDUSTRIAL, SL

C/Castaño nº2 Pol. Industrial

28942 FUENLABRADA

07/12/2016

**OFERTA** LUA\_012/16

Producto	Precio neto [TOTAL]
Base de compresión C-SBP160H38B (DTXSs-10)	804,18 €
<b>Equipamiento:</b>	
Compresores scroll Panasonic con resistencia de cárter	
Separador de aspiración	
Separador de aceite	
Recipiente de líquido 8L con válvula de seguridad	
Línea de líquido: filtro, visor, válvula de corte	
Presostato alta/baja	
Todo montado en la misma bancada	

#### Condiciones de venta:

Condiciones de envío:	Condiciones generales de venta
Validez:	31/12/2016
Condiciones de pago:	30 días

*Sales conditions follow the valid AREA Cooling Solutions General Conditions 2015*

## Ficha técnica evaporadora



D.B.M. SpA a Socio Unico

Via Ugo La Malfa 10 – 28040 Varallo Pombia (NO) – Italy

Tel. +39 0321 956794 – E mail: [sales@dbmcoils.com](mailto:sales@dbmcoils.com)

25/11/20

Nota

Offerta elaborata da

Consegna

Merce resa

a

Imballo

a

Pagamento

c

Validita' offerta

a

24 mesi di garanzia secondo condizioni generali DBM

### Datos de funcionamiento

CC User-76-00050/2 9 51

Rel. 5.0 01-03-20

#### Gas exterior Aire

Presión atmosférica mmHg 760

**Potencia kW 14.54**

**Caudal gas Sm³/h 2500**

Caudal máximo aire tratado kg/h 3011

**Temperatura de entrada °C 28.00**

Humedad relativa % 65.00

**Temperatura de salida °C 18.53**

Humedad relativa de salida % 93.58

Factor de calor sensible 0.56

Factor de deshumidificación kg/h 9.00

Velocidad Actual m/s 2.49

Pérdida de carga Pa 105

Perdita di carico aria secca Pa 42

#### Fluido interno R410A

**Temp. evaporación bar(a) 9.78**

Presión de condensación bar(a) 27.24

Sobrecalentamiento °C 8.00

Peso del líquido kg/h 309

Diametro distribuidor mm 22.00

Capillari Ø 5 lunghezza 550 mm

**Temperatura de evaporación °C 6.50**

Liquid temperature °C 45.00

Subenfriamiento °C 7.00

Pérdida de carga bar 0.03

Pérdida de carga distribuidor bar 1.05

Capillari %s lunghezza %d m bar 0.20

**Nº1 Bateria Cu-ALMG2.5-FeZn P3012ED 3R-20T-490A-2.0pa 10C 28 mm**

€ 224,00 Ca

### CARACTER. TÉCNICAS

Tubos Cu 12.45 x 0.60 mm

Aleta ALMG2.5 0.15 mm

Frame FeZn 1.5 / 1.50 mm

Material colector Cu R

Materiale attacchi Cu R

Reinforced manifolds

### ACCESSORI

Peso 22 Kg

Volumen interno 4 dm³

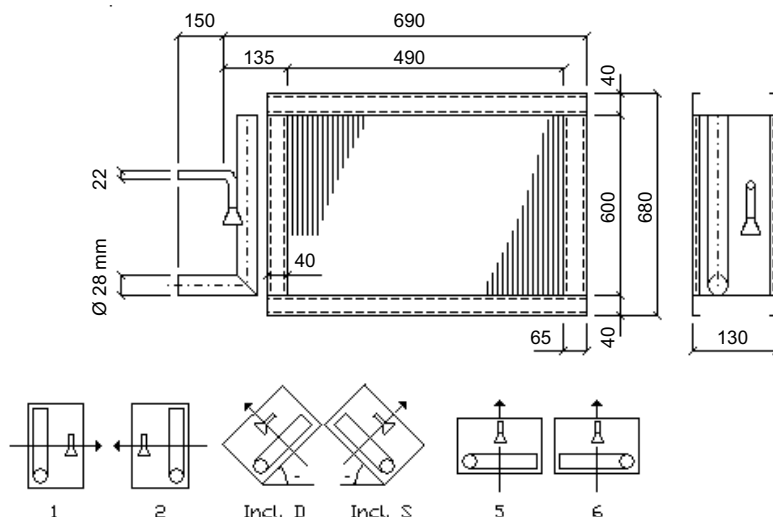
Superficie total de interca 20.33 m²

PED 97/23/CE Artículo 3.3

Pressione massima ammi -1.0 bar

Temperatura massima -40/80 °C

Standard calculation tolerance - Counterflow



## Ficha técnica condensadora



D.B.M. SpA a Socio Unico

Via Ugo La Malfa 10 – 28040 Varallo Pombia (NO) – Italy  
Tel. +39 0321 956794 – E mail: [sales@dbmcoils.com](mailto:sales@dbmcoils.com)

20/12/2016

Nota

Offerta elaborata da

Consegna

Merce resa a

Imballo a

Pagamento c

Validita' offerta a

24 mesi di garanzia secondo condizioni generali DBM

### Datos de funcionamiento

CC User-81-00025/3 0 51

Rel. 5.0 01-03-2016

#### Gas exterior Aire

Presión atmosférica mmHg 760

• **Potencia kW 17.69**

**Caudal gas Sm³/h 2500**

Caudal máscico aire tratado kg/h 3011

**Temperatura de entrada °C 18.53**

Humedad relativa % 93.58

**Temperatura de salida °C 39.04**

Humedad relativa de salida % 28.41

Factor de calor sensible 1.00

Factor de deshumidificación kg/h 0.00

Velocidad Actual m/s 2.18

Pérdida de carga Pa 46

#### Fluido interno R410A

**Presión de condensación bar(a) 27.24**

• Sobrecalentamiento °C 8.00

Peso del líquido kg/h 309

Pérdida de carga bar 0.11

Vapour velocity inside tubes m/s 2.62

**Temperatura de condensación °C 45.00**

Subenfriamiento °C 0.00

Temperatura de salida °C 38.99

Pérdida de carga °C 0.16

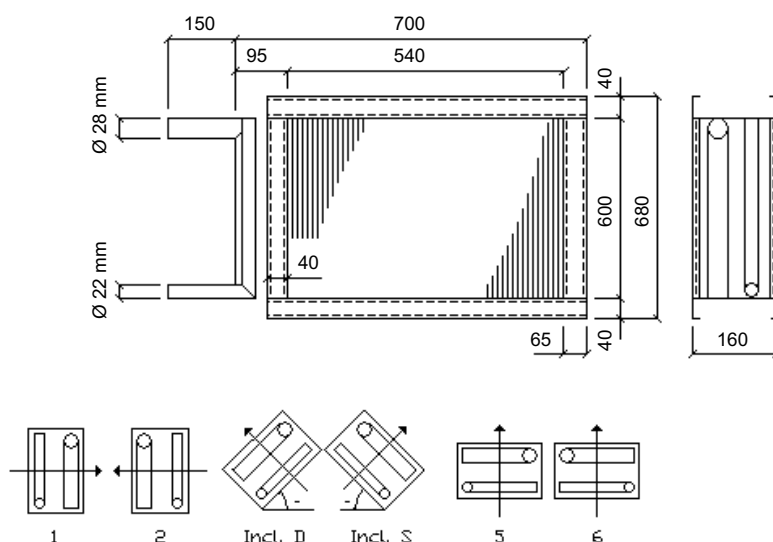
**N°1 Batería Cu-AlMg2.5-FeZn P3012COND 4R-20T-540A-2.0pa 3C 28 mm 22 € 257,00 Cada**

### CARACTER. TECNICAS

Tubos **Cu** 12.45 x 0.60 mm Peso 30 Kg  
Aleta **AlMg2.5** 0.15 mm Volumen interno 6 dm³  
Frame **FeZn** 1.5 / 1.50 mm Superficie total de interca 29.87 m²  
Material colector **Cu R** **PED 97/23/CE** **Artículo 3.3**  
Materiale attacchi **Cu R** Pressione massima ammi 42.0 bar  
Temperatura massima -40/80 °C

### ACCESSORI

Standard calculation tolerance - Counterflow



## Ficha técnica batería de apoyo



D.B.M. SpA a Socio Unico

Via Ugo La Malfa 10 - 28040 Varallo Pombia (NO) - Italy  
Tel. +39 0321 956794 - E mail: [sales@dbmcoils.com](mailto:sales@dbmcoils.com)

22/02/201

Notas

Offerta elaborata da

Consegna

Merce resa a

Imballo a

Pagamento c

Validita' offerta a

24 mesi di garanzia secondo condizioni generali DBM

### Datos de funcionamiento

CC User-110-00014/1 31 51

Rel. 5.001-03-2016

#### Gas exterior Aire

Presión atmosférica mmHg 760

Potencia kW 20.00

Caudal gas Sm³/h 2500

Caudal másico aire tratado kg/h 3011

Temperatura de entrada °C 17.00

Humedad relativa % 80.00

Temperatura de salida °C 43.79

Humedad relativa de salida % 17.16

Factor de calor sensible 1.00

Factor de deshumidificación kg/h 0.00

Velocidad Actual m/s 2.15

Pérdida de carga Pa 38

Perdita di carico aria secca Pa 38

#### Fluido interno Agua

Temperatura de entrada °C 82.00

Temperatura de salida °C 65.00

Peso del líquido kg/h 1168

Volumen de líquido l/h 1197

Velocidad Actual m/s 0.58

Pérdida de carga kPa 5.00

Densidad kg/m³ 975

Viscosidad mPa. 0.38

Conductividad W/mK 0.66

Calor específico J/kgK 4192.35

N°1 Batería Cu-AlMg2.5-FeZn P40AC 2R-15T-540A-2.0pa 3C 3/4"

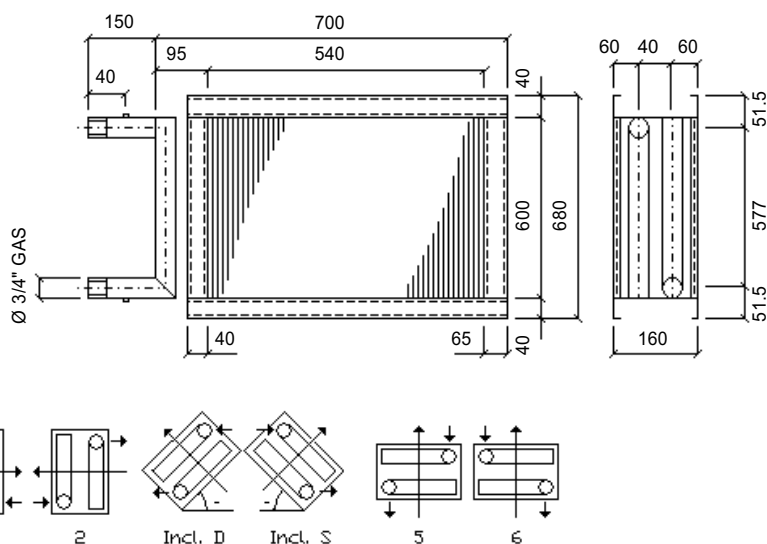
€ 146,00 Cad

### CARACTER. TECNICAS

Tubos	Cu	16.45 x 0.40	mm	Peso	20	Kg
Aleta	AlMg2.5	0.15	mm	Volumen interno	5	dm³
Frame	FeZn	1.5 / 1.50	mm	Superficie total de intercamb	19.71	m²
Material colector	Cu			PED 97/23/CE	Artículo 3.3	
Materiale attacchi	Fe			Pressione massima ammis	21.0	bar
Tipo filettatura	EN 10226-2			Temperatura massima a	-40/110	°C

### ACCESSORI

Standard calculation tolerance - Counterflow



## Ficha técnica del ventilador de impulsión

compact edition

FANselect

FANselect



### fan data

22/02/2017

version AMCA V 1.01 May, 2015 / | 27253 | (user ZAFS17253)



type	GR31C-ZID.DC.CR
article no.	114535/O01   Portfolio STD-WW

### technical data

motor	ECblue
mains supply	- 3~ 400V 50Hz
ambient temperature, max. limit ( $t_a$ )	°C 55
efficiency $\eta_{statA}$	% 66,5
efficiency $\eta_{actual}$   $\eta_{target}$	% 72,9   62
ErP-conformity	2015   EC controller integrated
grille   influence	no   no

### fan data

SFP-class   SFP-value ( $P_{SFP}$ )	-   Ws/m <sup>3</sup>	3   1094
airflow volume ( $q_v$ )	m <sup>3</sup> /h	2500
pressure, stat. ( $p_{stF}$ )   tot. ( $p_F$ )	Pa	644   675
electrical power input ( $P_{sys}$ )	W	760
system eff., stat. ( $\eta_{stF,sys}$ )   tot. ( $\eta_{F,sys}$ )	%	58,9   61,7
fan speed ( $n$ )   max. ( $n_{max}$ )	1/min	2432   3640
fan speed, set value (% $n_{max}$ )	%	67
frequency ( $f_{stF}$ )   ( $f_{max}$ )	Hz	50   60
voltage ( $U_{DF}$ )	V	400
current ( $I_{DF}$ )	A	1.26
acoustics, suction side ( $L_{w(A),s}$ )   ( $L_{w,s}$ )	dB	73   76
acoustics, pressure side ( $L_{w(A),e}$ )   ( $L_{w,e}$ )	dB	81   82
dimensions (w x h x d)	mm	450 x 450 x 305
product weight ( $m_{pr}$ )	kg	16
k-factor nozzle pres. (k)	-	95
differential pres. nozzle ( $p_{stF nozzle}$ )	Pa	693

### nominal values

3~ 380-480V 50Hz P1 2.50kW  
4.00-3.20A 3640/MIN 55°C  
3~ 380-480V 60Hz P1 2.50kW  
4.00-3.20A 3640/MIN 55°C  
IP54 THCL155

PF:PF\_00; BR:BR\_40;  $q_v$ :2500 m<sup>3</sup>/h;  $p_{stF}$ :644 Pa; mains:3~ / 400V / 50 Hz;  $t_a$ :20 °C;  $p$ :1.16 kg/m<sup>3</sup>; STot:~+10 %



compact edition

FANselect

FANselect



performance curve / acoustics

22/02/2017

version AMCA V 1.01 May, 2015 / | 27253 | (user ZAFS17253)

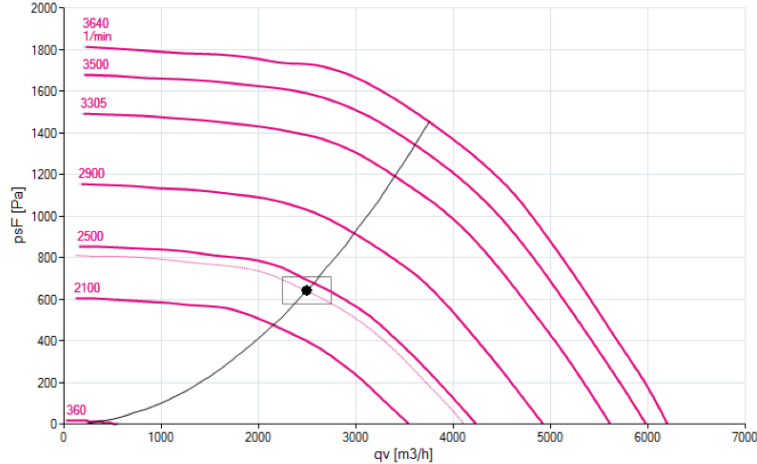
**GR31C-ZID.DC.CR**

measured in standard nozzle in installation type A according to ISO 5801

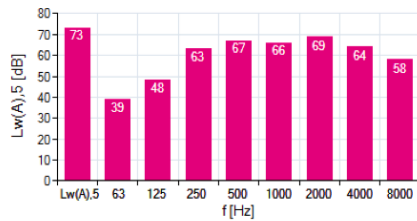
114535/O01 | Portfolio  
STD-WW

measurement density 1.16 [kg/m³]

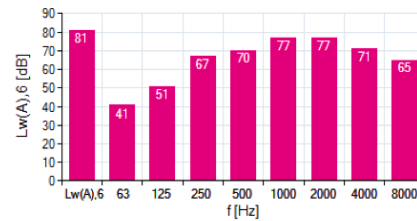
air performance  $p_{sF}$



acoustics ( $L_{w(A),5}$ )



acoustics ( $L_{w(A),6}$ )



1 GR31C-ZID.DC.CR									
f [Hz]	sum	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{w(A),5}$	73	39	48	63	67	66	69	64	58
$L_{w,5}$	76	64	64	71	70	66	67	63	59

f [Hz]	sum	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{w(A),6}$	81	41	51	67	70	77	77	71	65
$L_{w,6}$	82	66	66	75	73	77	76	70	66

## Ficha técnica ventilador de retorno

edición compacta

FANselect

FANselect



### Datos del ventilador

versión AMCA V 1.01 May, 2015 / | 27253 | (Usuario ZAFS17253)

20/02/2017



tipo	GR45C-ZIK.DC.CR	
Número de artículo	115520/A01   Portfolio STD-WW	
datos técnicos		
Motor	ECblue	
Alimentación de red	-	3~ 400V 50Hz
temperatura ambiente,	°C	40
Eficiencia $\eta_{statA}$	%	69,3
Eficiencia $N_{actual}$   $N_{target}$	%	77,1   62
Conformidad ErP	2015   Regulador EC integrado	
grille   influence	no   no	

### Datos del ventilador

SFP-class   SFP-valores ( $P_{SFP}$ )	-   Ws/m <sup>3</sup>	1   421
caudal ( $q_v$ )	m <sup>3</sup> /h	2500
Presión, stat. ( $p_{stF}$ )   tot. ( $p_{tF}$ )	Pa	246   254
Potencia eléctrica de toma ( $P_{sys}$ )	W	293
Eficiencia del sistema stat. ( $\eta_{stF,sys}$ )   tot. ( $\eta_{tF,sys}$ )	%	58,4   60,2
Velocidad del ventilador ( $n$ )   max. ( $n_{max}$ )	1/min	988   1800
Velocidad del ventilador, valores de ajuste	%	55
Frecuencia ( $f_{dp}$ )   ( $f_{max}$ )	Hz	50   60
voltaje	V	400
Intensidad	A	0.63
Datos sonoros, lado de aspiración ( $L_{w(A),5}$ )   ( $L_{w,5}$ )	dB	59   68
Datos sonoros, lado de presión ( $L_{w(A),6}$ )   ( $L_{w,6}$ )	dB	65   71
Dimensiones (a x h x l)	mm	600 x 600 x 310
Peso	kg	33
k-factor para la presión en la embocadura (k)	-	197
Diferencial de presión	Pa	161

### Valores nominales

3~ 380-480V 50Hz P1 1.80kW  
2.90-2.30A 1800/MIN 40°C  
3~ 380-480V 60Hz P1 1.80kW  
2.90-2.30A 1800/MIN 40°C  
IP54 THCL155

PF:PF\_00; BR:BR\_38; qv:2500 m<sup>3</sup>/h; p<sub>stF</sub>:246 Pa; mains:3~ / 400V / 50 Hz; temperatura ambiente, límite máximo:20°C; MRes:5 %; p:1.16 kg/m<sup>3</sup>; STot:~10 %; BF:GR,GR-H

## Curva característica / Datos sonoros

versión AMCA V 1.01 May, 2015 / | 27253 | (Usuario ZAFS17253)

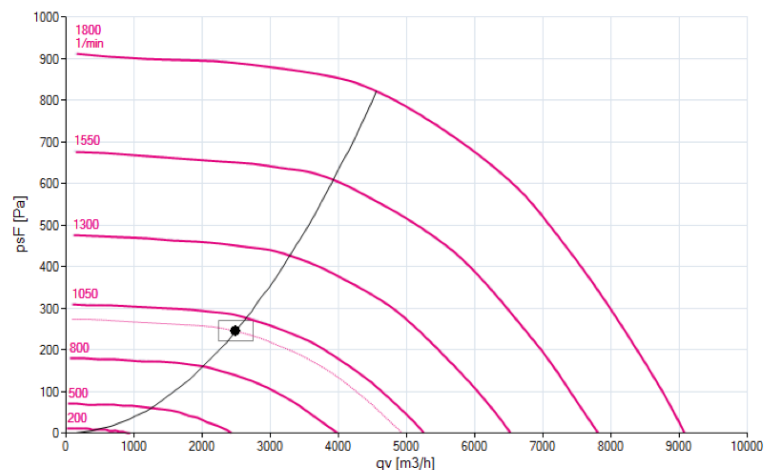
20/02/2017

### 1 GR45C-ZIK.DC.CR

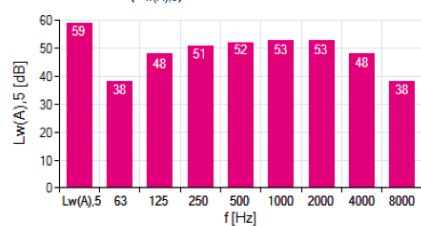
115520/A01 | Portfolio  
STD-WW

medido con embocadura estándar y rejilla en instalación de tipo A (ISO 5801)  
Densidades de medida 1.16 [kg/m³]

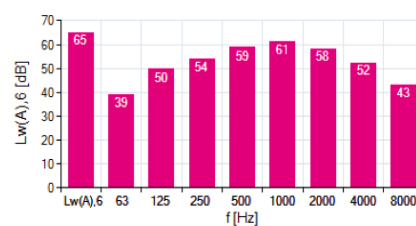
### Prestaciones $p_{sF}$



### Datos sonoros ( $L_{w(A),5}$ )



### acustica



### 1 GR45C-ZIK.DC.CR

f [Hz]	sum	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{w(A),5}$	59	38	48	51	52	53	53	48	38
$L_{w,5}$	68	62	65	59	56	53	51	47	39

f [Hz]	sum	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{w(A),6}$	65	39	50	54	59	61	58	52	43
$L_{w,6}$	71	63	67	62	62	62	57	51	44

## Ficha técnica recuperador

### RECUPERATOR S.p.A

via Valfurva 13 - 20027 Rescaldina (MI) - Italia - [www.recuperator.eu](http://www.recuperator.eu) - [recuperator@recuperator.eu](mailto:recuperator@recuperator.eu)  
Tel.: ++39 0331 18 53 1 - Fax: ++39 0331 18 53 000



Estimada empresa :	21-02-2017
Atención A :	Email
Modelo : BE AC 05 N 0700 M 1 AR CD SC ABBP140	Precio neto : Euro 388,00
Vuestra Ref. :	Oferta nr.

### Condiciones de Venta

Plazo de Entrega :	Entrega en
Validez de la oferta : 3 meses	Tipo de Pago
Embalaje : Incluido	Coste del transporte : No

### Características

Placas de aluminio recubierto	Temperatura de funcionamiento -30°C +90°C
Placas laterales en acero galvanizado	Presión diferencial máxima 1500 Pa
Sellado Adicional	Fianco con plega e rigirato
Con By-pass y con regulador lado aire nuevo	
Número de motores necesarios 1	Par mínimo 4 (Nm)

### Condiciones de Trabajo

		Caso 1	Caso 2
Recuperación	kW	14,8	0,40
Rendimiento Húmedo	%	63,4	48,0
Temperatura media(Norma EN 308) Húmedo	%	63,4	48,0
Rendimiento Seco	%	48,0	48,0
Temperatura media(Norma EN 308) Seco	%	48,0	48,0

Clase de recuperación (EN 13053)	H4
Eficiencia energética (EN 13053)	% 46,0
Efficienza termica (Erp directiva) (*)	% 48,0

### Aire de renovación

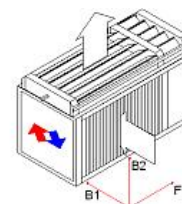
Caudal de aire standard (1.2 kg/m³)	m³/h	2500	2500
Caudal de aire másico	kg/h	3000	3000
Temperatura IN	°C	0,0	26,0
Humedad relativa IN	%	90,0	57,0
Temperatura OUT	°C	17,7	26,5
Humedad relativa OUT	%	26,8	55,4
Pérdida de carga	Pa	140	151
Pérdida de carga Std (1.2 kg/m³)	Pa	147	147
Velocidad Frontal	m/s	3,16	3,16
Velocidad ByPass	m/s	14,48	14,48

### Aire Extraído

Caudal de aire standard (1.2 kg/m³)	m³/h	2500	2500
Caudal de aire másico	kg/h	3000	3000
Temperatura IN	°C	28,0	27,0
Humedad relativa IN	%	65,0	68,8
Temperatura OUT	°C	17,9	26,5
Humedad relativa OUT	%	97,3	70,8
Pérdida de carga	Pa	149	151
Pérdida de carga Std (1.2 kg/m³)	Pa	147	147
Velocidad Frontal	m/s	3,16	3,16
Transferred humidity	l/h	8,7	

### Dimensiones

Altura (B1)	mm: 500
Longitud (F)	mm: 700
Profundidad (B2)	mm: 615
Diagonal	mm: 738
Longitud placas	mm: 500
Peso	kg: 24



Pression Atmosferica mbar 1013

(\*) Efficienza termica di un'HRS non residenziale misurata in condizioni di riferimento asciutte con un flusso di massa bilanciato sul rinnovo e una differenza termica dell'aria interna/esterna di 20°C

### Modo de Calculo

- Singulo  
Cálculo de un solo recuperador

Representante en España y Portugal :

Sr. Javier Cestero

Tel. +34 91 679 22 23 - Móvil +34 607 26 31 80

Fax +34 91 668 13 21

email : [comercial@klicon.e.telefonica.net](mailto:comercial@klicon.e.telefonica.net)



MADE IN ITALY

Recuperator S.p.A. se reserva el derecho a introducir cambios en su producto como consecuencia del desarrollo continuo de lo mismo.

Release : A18.5

Recuperator for  
16M25-161013